
BACHELORARBEIT

Herr

Gunnar Franke

SDI over IP – Wird das BNC-Kabel überflüssig?

2015

BACHELORARBEIT

SDI over IP – Wird das BNC-Kabel überflüssig?

Autor:
Herr Gunnar Franke

Studiengang:
Medientechnik

Seminargruppe:
MT11wF-B

Erstprüfer:
Prof. Dipl. Toningenieur (FH) Mike Winkler

Zweitprüfer:
Dipl. Ing. Philip McNamara

Einreichung:
19.06.2015

BACHELORARBEIT

BACHELOR THESIS

SDI over IP– Developing a new Broadcast Standard

author:
Mr. Gunnar Franke

course of studies:
Medientechnik

seminar group:
MT11wF-B

first examiner:
Prof. Dipl. Toningenieur (FH) Mike Winkler

second examiner:
Dipl. Ing. Philip McNamara

submission:
19.06.2015

Bibliografische Angaben:

Franke, Gunnar:

SDI over IP – Wird das BNC-Kabel überflüssig?

SDI over IP – Developing a new Broadcast Standard

2015 - 63 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,

Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2015

Abstract

Diese wissenschaftliche Arbeit untersucht die Möglichkeit, professionelle Videosignale zukünftig über Netzwerk zu übertragen. Durch die Etablierung der neuen Standards ST 2022 der Society of Motion Picture and Television Engineers und AVB der AVnu Alliance soll es Broadcastern möglich sein, SDI Signale Netzwerkbasierend in einer Broadcastumgebung einzusetzen. Durch den Einsatz herkömmlicher oder auch spezieller IT Technik werden neue Anforderungen bei der Systemerstellung an Systemintegratoren und Nutzern gestellt.

Im wesentlichen soll festgestellt werden ob die neuen Standards den aktuellen Ansprüchen genügen und ob es sinnvoll ist, auf die neue Technik umzurüsten. Dabei wird berücksichtigt, welche Anforderungen in Zukunft an das SDI gestellt werden und welche Entwicklungen hinsichtlich der herkömmlichen Variante über Koaxialkabel vorangetrieben werden. Weiterhin werden neue Einsatzbereiche für AVB und SMPTE 2022 vorgestellt. Abschließend soll ein Kostenvergleich einer herkömmlichen Installationsvariante und einer Installation nach AVB Einblick darüber geben, ob der Einsatz neuer Technik teurer oder günstiger ist. Grundlage der fiktiven Kalkulation sind beispielhafte Blockschaltbilder, die eine herkömmliche Verkabelung eines Fernsehstudios und eine Variante nach AVB, darstellen.

Als Ergebnis soll festgehalten werden, ob die Übertragung eines SDI Signals über Koaxialkabel zukunftssicher ist oder den erwartenden Anforderungen nicht mehr Stand halten kann und einer netzwerkbasierenden Lösung weichen muss.

Bibliographical details:

Franke, Gunnar:

SDI over IP – Wird das BNC-Kabel überflüssig?

SDI over IP – Developing a new Broadcast Standard

2015 - 63 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,

Faculty of Media, Bachelor, 2015

Abstract

This thesis deals with alternative methods to transmit professional video signals within a broadcast facility. The ST 2022 Standard from the Society of Motion Picture and Television Engineers and AVB from the AVnu Alliance specify two different methods for transporting video over a network infrastructure. The implementation of these methods involves the use of standard and special IT hardware and may require new workflows for system integrators, who will install broadcast systems, as well as for their customers.

Primarily it needs to be ascertained that AVB and SMPTE 2022 will achieve all demands and at the same time offer more advantages compare to video SDI (serial digital interface) over coax. Furthermore there is research being undertaken at the moment in the future of SDI over coax beyond HD. However video over IP offers opportunities for new applications. The author will give an overview of these new possibilities and present a comparative cost calculation between SDI and AVB for a typical video facility installation.

As a result, the facts will be clear if there will still be a market in the future for common SDI over coax or if network based video transport means the death for SDI.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	VI
Abbildungsverzeichnis.....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	IX
1 Einleitung.....	1
2 Grundlagen.....	3
2.1 Entwicklung des SDI.....	3
2.2 Netzwerktechniken.....	7
2.3 SDI over Ethernet.....	17
2.3.1 SDI over IP mit SMPTE ST 2022.....	18
2.3.2 AVB.....	22
3 Broadcaststrukturen.....	26
3.1 aktuelle Broadcastsysteme.....	26
3.2 Was ändert sich?.....	30
3.3 Vorteile der neuen Technik.....	35
3.4 Probleme/Nachteile.....	36
4 Neue Technik in der Praxis.....	39
4.1 Möglichkeiten für die Zukunft.....	39
4.2 Kosten vs. Nutzen.....	42
5 Fazit.....	47
Literaturverzeichnis.....	X
Anlagen.....	XII
Eigenständigkeitserklärung.....	XIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: ISO-OSI-7-Schicht-Referenzmodell ¹	11
Abbildung 2: Protokollübersicht in einem Paket bei SMPTE 2022 ²	19
Abbildung 3: Schema eines AVB-Netzwerks ³	23
Abbildung 4: Schema einer SMPTE 2022 Installation mit Grass Valley Produkten ⁴	31
Abbildung 5: Sonys Vorstellung zukünftiger Remote Production ⁵	32
Abbildung 6: AVB Netzwerk in einer Broadcastumgebung ⁶	33
Abbildung 7: Anwendungsmöglichkeiten mit SMPTE 2022 nach Artel Videosystems ⁷	40

1 [BUDDE: ISO-OSI-7-Schicht-Referenzmodell](#)

2 [WELCH: Uncompressed Video over IP Standards Progress; Seite 8](#)

3 [TEENER: No-Excuses Audio/Video Networking; Seite 5](#)

4 [UNBEKANNT: emerging-echnologies \(GVB\)](#)

5 [UNBEKANNT: Sony Develops "Real-time IP Production Technology" Capable of Synchronous Transferring and Switching of HD and 4K Video, Audio and Control Signals Over A Network](#)

6 [UNBEKANNT: Ethernet-Based Live Television Productiont-Based Live Television Production](#)

7 [UNBEKANNT: The Broadcaster's Guide to SMPTE 2022](#)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Protokolle der OSI-Schichten.....	13
Tabelle 2: Unterscheidungsmerkmale der Switcharten.....	15
Tabelle 3: Kostenaufstellung einer herkömmlichen Installation.....	44
Tabelle 4: Kostenzusammenstellung bei AVB.....	45

1 Einleitung

“There is a tendency in the industry to converge all networks into one technology, and the obvious one is IP/Ethernet,”⁸ dieser Ansicht ist nicht nur Lieven Vermaele, Geschäftsführer von SDNSquare. Dass sich die Fernsehbranche auf diese Ziele spezialisiert, war in den letzten Jahren in Diskussionen der Branche festzustellen. Auf sämtlichen Kongressen und Tagungen waren Referenten dabei, die neuesten Entwicklungen mit Blick auf Video über Netzwerk, oder genauer ausgedrückt, SDI over IP, im Broadcastbereich vorzustellen. Bereits erkennen konnte man dabei, dass es zwei verschiedene Entwicklungsrichtungen geben wird. Zum einen die Forschungsgruppe der SMPTE, Society of Motion Pictures and Television Engineers und deren Standardfamilie ST 2022 sowie die AVNu Alliance mit Audio Video Bridging, kurz AVB. AVB setzt bewährte definierte Standards der IEEE zur Übertragung von Videosignalen im Netzwerk ein. Beide Forschungsgruppen haben in Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern versucht praktische Netzwerkkonzepte zu erarbeiten, welche die bestehenden Strukturen in den Rundfunkhäusern von heute überflüssig machen könnten. Aber wieso besteht seit langem so ein enormes Interesse an neuen Infrastrukturen? Warum Netzwerksysteme und warum kein BNC mehr in der Zukunft? Welche Vorteile und Nachteile die beiden neuen Technologien gegenüber der bewährten und funktionierenden Technik mit sich bringen, soll in dieser Arbeit hauptsächlich thematisiert werden. Weiterhin ist von Interesse wie man die neue Technik einsetzen wird. Wie weit sind die Hersteller in ihren Forschungsphasen? Gibt es bereits Geräte oder ist man immer noch in der Entwicklung? Wie vertragen sich die beiden unterschiedlichen Systeme AVB und SMPTE 2022 untereinander? Kann man diese vielleicht kombinieren um Nachteile auszuhebeln? Gibt es in Zukunft immer noch herkömmliche Strukturen, wie man sie aktuell verwendet? Zum Ende dieser Arbeit werden die meisten dieser Fragen beantwortet sein.

Um diese wissenschaftlichen Fragen beantworten zu können, beschäftigt sich diese Arbeit mit den Grundlagen im Kapitel 2. Darin enthalten sind grundsätzliche Informationen zum Thema SDI und Netzwerktechniken. Um über die Thematik SDI over IP sprechen zu können, ist es notwendig zu klären was SDI ist und welche Entwicklung zu erwarten sind. Weiterhin aber auch wie es entstanden ist und wie in Zukunft in Netzwerken damit gearbeitet werden kann. Anschließend wird im Kapitel 3: Broadcaststruk-

8 Fox, David; SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

turen, eine Infrastruktur einer aktuellen modernen Fernsehregie in HDTV mit herkömmlicher BNC-SDI Verkabelung genauer betrachtet werden und mit einer denkbaren SDI-IP Realisation verglichen. Im Kapitel 4 gibt es einen Einblick in den aktuellen Stand der Hersteller sowie mögliche Lösungsansätze für Probleme, die durch die neue Technologie gelöst werden können. Weiterhin werden noch unter Kapitel 4 die Kosten der Systeme verglichen. Abschließend wird im Kapitel 5 das Ergebnis der Untersuchungen präsentiert und ein Fazit aus den gewonnen Erkenntnissen gezogen.

Aufgrund der Aktualität dieser Thematik sind als Literatur Online Veröffentlichungen in Form von Videos, Kolumnen, White Papers oder auch Presse Artikel verwendet wurden. In vielen Punkten konnten Standardliteraturen und Printmedien nicht tiefgründige Erkenntnisse zum aktuellen Wissensstand beitragen. Für die Bereiche der Grundlagen zu den Themen Entwicklung des Serial Digital Interfaces, SDI, und Netzwerktechnik gibt es Printmedien die zur Anfertigung diese Thesis dienlich waren.

Aufgrund des enormen Interesses der Branche diese neu entwickelte Technik im Einsatz zu sehen, war die Anfertigung dieser Arbeit hauptsächlich daraus motiviert, für Systemintegratoren wie beispielsweise die Studio Hamburg Media Consult International (MCI) GmbH einen tieferen Einblick in den Umgang dieser Technik zu geben. Wird durch die Entwicklung solcher neuen Systeme die Arbeitsweise solche Unternehmen verändert werden oder gelingt Problemlos der Umstieg auf die neuen Anforderungen, die durch Weiterentwicklung solcher Infrastrukturen gestellt werden.

2 Grundlagen

Bevor auf die Problematik praktischen Anwendung komplexer Infrastrukturen innerhalb von Rundfunkhäusern eingegangen wird, müssen Grundlagen im Bereich Serial Digital Interface und Netzwerktechnik geschaffen werden. Ebenfalls werden die spezifischen Merkmale des Standards 2022 der SMPTE und Audio Video Bridging dargestellt. Als Grundlage für das SDI versteht der Autor eine Beschreibung verschiedener definierter Standards und Bandbreitanforderungen, der dadurch möglichen übertragen Broadcast-signalen innerhalb der Produktionsumgebungen. Weiterhin wird in dem Punkt 2.1 ein Ausblick über die Entwicklungsrichtung des SDI gegeben. Ebenfalls wird erläutert, welche Probleme durch die neuen Auflösungsformate bei der Übertragung von SDI über Koaxialkabel in Zukunft zu erwarten sind. Neben Grundlagen über das professionelle Videosignal sind für AVB und SMPTE 2022 Begriffe aus dem IT Bereich erforderlich. In Zukunft werden Rundfunkingenieure sich tiefgründiger mit IT-Wissen auseinander setzen müssen. Beispielsweise Begriffe wie Multicast, verschiedene IT Protokollstandards und dem ISO-OSI Schichtmodell. Was ist der Unterschied zwischen Routing und Switching oder was ist ein Quality of Service, QoS? Um die Unterschiedlichen Arbeitsweisen von AVB und SMPTE 2022 einschätzen zu können und auch hinsichtlich der Vorteile sowie Nachteile beurteilen zu können, wird ein Basiswissen der Informationstechnik im Abschnitt 2.2 erklärt. Leider kann es in diesem Zusammenhang keine Vollständigkeit und keine genaueren Funktionserklärungen dieser einzelnen Sachverhalte geben, da es den zeitlichen Rahmen sowie auch den inhaltlichen Rahmen dieser Bachelorarbeit übersteigen würde. Um sich tiefgründiger mit dieser Materie auseinanderzusetzen empfiehlt sich ein Einblick in die auch hier verwendete Literatur wie beispielsweise Andres S. Tannebaums Computernetzwerke. Nachfolgend werden, unter dem Punkt 2.3 geführt, die Charakteristiken von SMPTE 2022 und Audio Video Bridging erklärt.

2.1 Entwicklung des SDI

Die Schnittstelle Serial Digital Interface (SDI) beendete die analoge professionelle Videowelt mit ihrer Einführung im Jahr 1989. Dabei werden seriell Zeile für Zeile oder auch Bild für Bild über einen elektrischen Leiter übertragen. Neben dem eigentlichen Bildmaterial werden, in dafür vorgesehenen Platzhaltern, zusätzliche Informationen wie Zeitinformationen, Metadaten aber auch Audiosignale, in einem digitalen Format, über-

tragen. In der Regel werden Helligkeitssignale, Luminanz und Farbsignale, Chrominanz, in einem 4:2:2 Verhältnis mit einer Auflösung von 10 Bit übertragen. Mit dem SMPTE Standard 259M⁹ war diese serielle digitale Videoschnittstelle geboren. Man setzte weiterhin auf Koaxialkabel und den BNC Bajonettverschluss, wie er in der Analogtechnik verwendet wurde. Diese Kombination ist äußerst robust, hat geringe Dämpfungswerte und ist auch mechanisch stabil und leicht reparabel. Aber durch die Umstellung der Technik musste sich auch das Personal umstellen. Arbeitsweisen veränderten sich. Beispielsweise hatte man im Analogen Bildsignal unendlich viele Helligkeitswerte, so beschränkte man sich im digitalen auf maximal 1016 verschiedene, 10-Bit, Graustufenwerte. Es war einem möglich in die Austastlücke des Bildimpulses 16 digitale Audiospuren zu integrieren und ebenso das Taktsignal. Somit war es möglich, mehrere Signale gebündelt über eine Leitung zu transferieren. Der Verkabelungsaufwand verringerte sich drastisch und Bild-Ton-Asynchronizität wurde ein vernachlässigbares Thema. Ein weiteres Problem der analogen Signalübertragung, ist die Einstreuung von elektromagnetischer Strahlung. Selbst durch gute Schirmungen der Signalleitungen, konnten Störquellen einstrahlen und das Bild-Rausch-Verhältnis beeinflussen. Den gleichen Sachverhalt kann man in der analogen Audiotechnik beobachten. In Audiobereich konnte man durch eine symmetrische Signalführung im Kabel das Problem lösen.

Das Taktsignal, der Blackburst war in Zeiten der Analogtechnik ein messbares und auch messrelevantes Signal. Es sorgte für einen sauberen Zeilensprung und für einen korrekten Bildaufbau. Mit der Einführung der digitalen Technik wurde der Blackburst, auch Bi-Level-Sync genannt durch den Tri-Level-Sync erweitert. Hier definiert ein zweiter Flankenimpuls eine genauere Synchronisation der Geräte untereinander. Im Bereich der Fernsehtechnik weniger von Bedeutung aber dennoch relevant ist der LTC¹⁰ und VITC¹¹. Der Longitudinal Time and Control Code beschreibt das Bildsignal auf einer Audiospur in Längsrichtung mit einer Zeitinformation in einer Breite von 80 Bits. Diese Information ist bei Bandmaterial für eine zeitliche Zuordnung der Bilder auf dem Bandmaterial relevant. Der Vertical Interval Time and Control Code wird vertikal, also zwischen zwei nicht aufeinanderfolgenden Zeilen zwischen den Zeilen 7 und 22 in der Vertikalen Austastlücke aufgezeichnet. Pro Halbbild sind in 90 Bits Zeit- und Benutzerinformationen für das Bildmaterial enthalten. Mit der Einführung des SDIs wurde der VITC durch ATC¹² ersetzt. Der Ancillary Time Code befindet sich im digitalen Videofor-

9 Unbekannt; SMPTE M 259 SD Standard; <http://standards.smpste.org/content/978-1-61482-407-7/st-259-2008/SEC1.abstract?sid=a5786e81-6f06-4a53-a7a3-e2a8f5950e10>

10 Michael Mücher, BET-Fachwörterbuch, 19.09.2006; <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/LTC.htm>

11 Michael Mücher, BET-Fachwörterbuch, 02.12.2014; <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/VITC.htm>

12 Michael Mücher, BET-Fachwörterbuch, 02.12.2014; <http://bet.de/Lexikon/Begriffe/ATC.htm>

mat in der Austastlücke und kann bis zu zwei VITC und ein LTC Signal enthalten. Die genaue Position ist abhängig von der angewendeten Videonorm.

Für ein SD-SDI Signal bedarf es 270 MBit/s an Bandbreite für die Übertragung eines 576 Zeilen hohen 4:3 Signal im Zeilensprungverfahren. Doch die Einführung von HD, definiert im Jahr 1998 durch den SMPTE Standard 292M¹³, lies den Bandbreitenbedarf rapide auf 1,5 Gbits/s steigen. Das sind in etwa 1.500 Mbit/s. Bei diesen Bandbreiten ist es möglich ein unkomprimiertes Videosignal im Bildformat von 16:9 in der Auflösung von 720 Zeilen progressiv (720p) oder 1080 Zeilen interlaced, also im Zeilensprungverfahren (kurz 1080i), zu übertragen. Im Jahre 2002 wurde HD-SDI mit dem 372M¹⁴ Standard, Dual-Link HD-SDI erweitert. Dieser ermöglichte unter Verwendung von zwei parallel betriebenen 1.5G Koaxialkabeln eine Bandbreitennutzung von 3 GBit/s kurz 3G. Bei dieser Bandbreite ist es einem möglich Progressivbilder, Vollbilder, mit einer Auflösung von 1080 Zeilen im 16:9 Bildformat zu übertragen. Im Jahr 2006 war es mit der Einführung von 3G-SDI mit SMPTE 424M¹⁵ möglich die Signalübertragung auf einer einzigen Coax-Leitung durchzuführen.

Obwohl es uns heute möglich ist, in voller 1080p Auflösung Fernsehinhalte zu produzieren, empfangen die deutschen Haushalte dieses Format nicht. Die öffentlich-rechtlichen Sendeanstalten wählten mit der Einführung des HDTV das Format 720p50, wie von der EBU 2010¹⁶ in Genua vorgeschlagen. Die deutschen Privatsender wählten den 1080i25 Standard für ihre Sendeübertragung. Aber warum nutzte man nicht eine Übertragung in 1080p50? Zwischen der Einführung von 3G-SDI im Jahr 2006 und der Einführung von HDTV in Deutschland 2012 lagen nur 6 Jahre. Im Regelfall erneuern die deutschen Sendeanstalten ihre technischen Produktionsräume in einem Intervall von 10-15 Jahren. Auch heute im Jahr 2015 sind noch nicht alle Einrichtungen auf HD Betrieb umgerüstet. Dadurch ist es einfach unmöglich an jedem Produktionsstandort einen lückenlosen Betriebsstandard von 1080p50 einzustellen. Technisch ist dennoch möglich, Auflösungen zu verändern und die Inhalte in 1080p50 zu senden.

13 Unbekannt; SMPTE 292M Standard; <http://standards.smpite.org/content/978-1-61482-853-2/st-297-2015/SEC1.abstract?sid=e08dec0-49fe-44dc-b381-42569be85b58>

14 Unbekannt; SMPTE 372M Standard; <http://standards.smpite.org/content/978-1-61482-513-5/st-372-2011/SEC1.abstract?sid=8c91a07c-e2ef-4312-a219-4eff16a92de7>

15 Unbekannt; SMPTE 424M Standard; <http://standards.smpite.org/content/978-1-61482-714-6/st-424-2012/SEC1.abstract?sid=abf3ee60-ae9f-4e2b-9c37-9aade449a4>

16 Unbekannt; EBU Tech Report 005 -Information Papers on HDTV Formats, Februar 2010; <https://tech.ebu.ch/docs/techreports/tr005.pdf>

Wagt man einen kurzen Blick in die Zukunft, kann man erkennen, dass von HD oder FullHD nicht mehr die Rede sein wird. Im Bereich Konsumenten-Elektronik ist man mittlerweile im Bereich von UltraHD (UHD-TV), 4K und 8K angelangt. Die Entwicklung der Heimelektronik ist der professionellen Technik oft viele Jahre voraus. Das sieht man auch an einem anderen folgendem Beispiel: So hatte man bereits seit 2002 die Möglichkeit zuhause mit BluRay DVDs Filme in einer maximalen Auflösung von 1080p30 schauen zu können. Schaltet man zurück zum Fernsehbetrieb muss man einen Qualitätsabstrich machen und wieder in niedriger Auflösung fernsehen. Aber das Interesse der Hersteller an Geräten mit einem Auflösungsmaß von 4K und mehr ist groß. Sony baute für einen Test von 4K Umgebungen einen FullHD Übertragungswagen auf 4K aus und übertrug zum Confederations Cup 2013 in Brasilien mehrere Fußballspiele mit 4K Kameras und FullHD Kameras kombiniert. „Sony ist stolz darauf, ein Pionier für 4K-Lösungen zu sein, und wir freuen uns darauf, die Vorteile zu sehen, die diese aufregende neue Technologie der Sportwelt bieten kann. Während verschiedene Aspekte der Fernsehübertragung in 4K bereits entwickelt und getestet wurden, wird dieser Test der erste für die Produktion von Live-Sportübertragungen sein. Der FIFA Confederations Cup wird ein wichtiger Meilenstein für die Zukunft von 4K sein.“¹⁷

Aber wie schaut dafür die aktuelle Entwicklung des SDI Signals durch die SMPTE aus? Für die Weiterentwicklung der Bandbreiten des SDI Signals befasst sich auch weiterhin eine sogenannte Task Force. Mit den Standards ST-2081¹⁸ und ST-2082¹⁹ entwickelt die Organisation eine Möglichkeit die Bandbreite des SDI Signals auf 6G UHD-SDI und 12G UHD-SDI zu erhöhen. Ebenfalls 24G stehen dabei mit ST 2083 in Aussicht. Die Signalübertragung kann dann weiterhin elektrisch über eine Koaxialleitung oder optisch über einen Lichtwellenleiter übertragen werden. Eine Veröffentlichung dieses Standards wird im letzten Quartal 2016 vermutet. „The new 3G SDI document suite, and the work of the 32NF70 Working Group to develop 6G, 12G, and 24G SDI is just the continuation of SMPTE's evolutionary approach to the development of the SDI interface.“, bemerkte John Hudson²⁰ Auch aktuelle SDI Standards können alternativ zum Koaxialkabel auf Lichtwellenleiter vom Sender zum Empfänger gesendet werden. Waren bisher nur maximal 60 Vollbilder pro Sekunde möglich sollen die neuen

17 Mark Grinyer, Sony und FIFA beginnen mit 4K-Tests beim FIFA Confederations Cup 2013; <http://www.sony.de/pro/article/broadcast-products-sony-and-fifa-kick-start-4k-trials-at>

18 Unbekannt; SMPTE ST 2081 Standard; <http://standards.smpte.org/content/978-1-61482-856-3/st-2081-1-2015/SEC1.abstract?sid=997dde8a-9128-4f3e-ae22-a405b17b0a60>

19 Unbekannt; SMPTE ST 2082 Standard; <http://standards.smpte.org/content/978-1-61482-859-4/st-2082-1-2015/SEC1.abstract?sid=997dde8a-9128-4f3e-ae22-a405b17b0a60>

20 Michael Goldmann, Hot Button Discussion, März 2014, <https://www.smpte.org/publications/past-issues/March-2014>

Standards bis zu 120 Bilder pro Sekunde übertragen können. Mit dem ST-2083 Standard und den 24G Bandbreite wäre man in der Lage über eine Leitung ein 8K Signal mit einer Auflösung 7680x4320 Pixel bei max. 30 Bilder pro Sekunde zu übertragen. Für 50 Vollbilder müssten bereits zwei Leitungen im Dual-Link verwendet werden. Die SMPTE Task Force plante mit der Fertigstellung der Standards für 6G und 12G im Laufe des Jahres 2015 und 24G im Jahr darauf 2016. Damit wären die Möglichkeiten geschaffen 4K und 8K Signale innerhalb des Broadcastbereichs zu übertragen. Aber nicht nur die Infrastruktur muss dafür geschaffen sein, sondern auch die Geräte in der Produktionskette. Aufgrund Sonys Erfahrung im Filmbereich war Sony einer der Ersten mit einer 4K Systemkamera am Markt. Grass Valley²¹ zogen zur IBC 2014 in Amsterdam mit ihrer Produktpalette nach. "We're especially excited about introducing our 4K/UHD camera to the European market at IBC," so präsentierten Sie dort dem Fachpublikum die neue Kamerageneration, Videokreuzschiene und Bildmischer mit 4K/UHD Auflösung. Auch haben große Hersteller der Branche wie Ikegami, Evertz, Snell auf der NAB im April 2015 viele neue Produkte für 4K und 8K Signale vorgestellt. Die Entwicklung des SDI Signals ist also für die nächsten Jahre sichergestellt und lässt auf eine Entwicklungsreiche Zukunft hoffen.

2.2 Netzwerktechniken

„Ein Netzwerk besteht im allgemeinen aus einer Gruppe von Computersystemen und Terminals, die über Kommunikationsleitungen miteinander verbunden sind und die Informationen und Ressourcen gemeinsam nutzen. Ein Netzwerk, auch als Computer-Netzwerk bezeichnet, umfasst technische Einrichtungen (Leitwege, Vermittlungsstellen und Anschlußstellen) und entsprechende Übertragungs- und Vermittlungsverfahren.“²²

Diese Netzwerke bestehen aus einer Netz-Hardware und Netz-Software. Zunächst kann man aber Rechnernetze an zwei Klassifikationskategorien unterscheiden. Die erste Kategorie ist die Übertragungstechnik. Die zweite Kategorie der Klassifizierung ist die Ausdehnung eines Netzwerkes. Die Übertragungstechnik beschreibt auf welche Methode Signale übertragen werden. Dies kann auf zwei prinzipielle Möglichkeiten eingeschränkt werden. Zum einen kann eine Übertragung auf Punkt-zu-Punkt-Strecken,

21 Mike Cronk, Grass Valley to Show Customers the Way to 4K/UHD at IBC 2014, September.2014;
<http://www.grassvalley.com/news/press/releases/view/2379-grass-valley-to-show-customers-the-way-to-4kuhd-at-ibc-2014>

22 Klaus Lipinski, S.367; Lexikon der Datenkommunikation, 5. Auflage 1999

im englischen als Point-to-Point-Links oder auch als Peer-to-Peer, geschehen oder man kann Signale bzw. Daten als Rundrufstrecken, Broadcast-Links übermitteln. Die einfache Punkt-zu-Punkt Übertragung ist in der Regel sicher, da keine Informationen bei der Übertragung an andere Teilnehmer verloren gehen können. Allerdings müssen Informationen die außerhalb dieser direkt Verbindung liegen über mehrere Punkte geschehen. Diese multiple Hop Verbindung ist unter Umständen ineffizient. Ein generell gutes Beispiel für eine Peer to Peer Verbindung sind Router untereinander. Hier erfolgt beispielsweise ein Datenaustausch aus einem Netzwerk über diese eine Strecke in ein anderes Netzwerk. Die Punkt-zu-Punkt-Übertragung nennt man auch Unicasting. Bei Broadcast-Links wird eine Information an viele Nutzer übertragen. Durch einen Eintrag im Adressfeld, weiß der betroffene Nutzer, dass der Inhalt für ihn bestimmt ist. Die anderen Nutzer im Netzwerk ignorieren das Paket. Bei Broadcast-Links gibt es aber auch die Möglichkeit ein Paket an mehrere oder sogar alle Nutzer gleichzeitig zu senden. Sollen alle Empfänger das Paket erhalten wird ein spezieller Code im Adressfeld verwendet, der es erlaubt das alle Nutzer angesprochen werden. Möchte man hingegen nur eine Gruppe im Netzwerk erreichen kann durch eine Gruppennummer im Adressfeld nur eine bestimmte Nutzergruppe ansprechen. Die Betriebsart alle Nutzer gleichzeitig anzusprechen nennt man Broadcast, wobei der Fall nur bestimmte Rezipienten zu erreichen Multicasting genannt wird. Einem Nutzer ist es auch möglich Mitglied in mehreren Gruppen zu sein, somit kann er auch verschiedene Multicast-Pakete empfangen.²³

Die zweite Möglichkeit der Klassifizierung ist die Ausdehnung eines Netzwerkes. Das heißt wie weit sind die Prozessoren, Hosts, Nutzer räumlich voneinander entfernt. Vernachlässigt man das Personal Area Network, PAN, ist das kleinste wirkliche Computernetzwerk das LAN. Das Local Area Network ist ein im Vergleich kleines leicht zu steuerndes und überschaubares Netzwerk. Es verbindet mehrere Computer, Server, Workstations oder auch Peripheriegeräte wie Drucker in einem Netzwerk und sorgt dafür für einen gemeinsamen Datenaustausch. „LANs unterscheiden sich von anderen Netzarten anhand der Merkmale: (1) Größe, (2) Übertragungstechnik und (3) Topologie. LANs sind hinsichtlich der Größe begrenzt, was bedeutet, dass die Übertragungszeit nach oben beschränkt und im voraus bekannt ist. Die Kenntnis dieser Grenze ermöglicht es, bestimmte Arten von Designs zu verwenden, die andernfalls nicht möglich gewesen wäre.“²⁴ Heutzutage benutzt in der Regel jeder Heimanwender ein LAN. Der von dem Provider bereitgestellte Internet Router, hat in den meisten Fällen weitere Ports

²³ Vgl. Andrew S. Tannenbaum, S. 30, Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

²⁴ Ebd. S. 31

für den Anschluss von Kabelgebundenen Netzwerkgeräten. Auch verbindet er die Funkschnittstelle des WLANs mit der Kabelgebundenen Schnittstelle des LANs. Alle Teilnehmer an der drahtlosen oder auch gebundenen Schnittstelle des Routers bilden ein gemeinsames Local Area Network. Von dem Router des LANs geht eine weitere Leitung ab, die das Lokale Netz mit dem Wide Area Network verbindet. Dieses Fernnetz umfasst alle angeschlossenen Rechner, in der Regel Clients oder Hosts bezeichnet, in einem großen geografischen Gebiet. Das Verbindungsnetz zwischen den Hosts gehört in der Regel einer Telefongesellschaft oder Dienstleistungsanbieter. In einem LAN bilden alle Hosts das Netzwerk, bei einem WAN sind es die Hosts und die Router die einem Verbindungsnetz liegen, als Ganzes. „Die Gesamtheit der Übertragungsleitungen und der Router (nicht aber der Hosts) bilden das Verbindungsnetz.“²⁵

Damit Hosts aus verschiedenen LANs untereinander kommunizieren können muss eine Vermittlung über die Router im WAN geschehen. Dieses Prinzip nennt man Speichervermittlungsnetz, Store-and-Forward-Netz oder auch Paketvermittlungsnetz. Damit der Transport einer Nachricht erfolgen kann, muss diese beim Host zunächst in gleichgroße Pakete getrennt werden. Anschließend wird jedes Paket seriell über das Leitungsnetz an den Ziel-Host übertragen. Alle Pakete nehmen dabei den exakt gleichen Weg im Netzwerk. Sind alle Pakete beim Zielhost angekommen, setzt dieser die Nachricht wieder zusammen, die Originalnachricht kann vom Empfänger gelesen werden. Das Routing über die Koppelpunkte, Router oder Hops, im Netz erfolgt lokal in jedem Gerät selbstständig. „Die Entscheidung über die Weiterleitung wird lokal getroffen. Kommt ein Paket am Router A an, muss A entscheiden, ob dieses Paket auf der Leitung zu B oder der Leitung zu C weiter übertragen wird. A trifft diese Entscheidung aufgrund eines sogenannten Routing-Algorithmus.“²⁶

Es gibt mehrere Routing Algorithmen, wie ein Paketstrom übertragen werden kann. Dabei unterscheidet man grundsätzlich die Algorithmen in zwei Varianten, adaptive und nicht-adaptive, Algorithmen. „Der Routing Algorithmus ist jener Teil der Software der Vermittlungsschicht, der über die Ausgabeleitung für eingehende Pakete entscheidet.“²⁷ Neben dem WAN gibt es noch sogenannte Metropolitan Area Networks, WAN. Diese Stadtnetze klassifiziert man ebenfalls als Netzwerk und finden sich entsprechend ihrer Ausdehnung zwischen dem LAN und dem WAN. Allerdings finden MANs in der Regel keine Anwendung in der Computernetzwerktechnik. Ein Beispiel für ein MAN wäre ein städtisches Verteilnetz für Fernsehdistribution. Über eine Antenne wird das

25 Ebd.; S. 35

26 Andrew S. Tannenbaum, S. 35f, Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

27 Andrew S. Tannenbaum, S. 388 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

Signal eines Anbieters empfangen und über eine Kopfstelle an Anschlusskästen weiterverteilt und anschließend an Haushalte übermittelt. Mit der Zeit der Entwicklung wurde aber auch auf diese Weise das Internetangebot über die „Antennenleitung“ ermöglicht. „Eine Gruppe miteinander verbundener Netze nennt man Internetwork oder Internet“²⁸ Dabei kann ein Internetwork aus zwei mit einander verbundener LANs bestehen oder einem LAN mit einem WAN. Das World Wide Web, www, ist eine besondere Form des Internetworks. Abschließend für die Definition von Netzwerken kann man sagen: „Internetworks, Netze und Verbindungsnetze werden oft verwechselt. Der tatsächliche Unterschied betrifft die Eigentumsverhältnisse und die Verwendung.“²⁹

Damit die Hardware in Netzwerken mit einander kommunizieren kann benötigt diese eine spezielle Software. Aufgrund der heutigen Komplexität von Netzwerken konnte die anfängliche reine Hardware Realisierung von Netzwerken nicht bestehen. Die Netzwerksoftware wurde auf Protokollhierarchien aufgebaut um die Komplexität zu verringern und die Übermittlung schneller und vereinfachen zu können. „Um ihre Komplexität zu verringern, sind die meisten Netze als mehrere übereinander liegende Schichten oder Ebenen aufgebaut. [...] In allen Netzen haben Schichten den Zweck, den jeweils höheren Schichten bestimmte Dienste (Services) zur Verfügung zu stellen,... Die Grundidee ist, dass eine bestimmtes Stück Software (oder Hardware) einen Dienst für einen Benutzer zur Verfügung stellt, aber die Einzelheiten über seinen inneren Zustand und die Algorithmen vor ihnen verbirgt.“³⁰

Das OSI-Referenzmodell definiert dafür die sieben Schichten eines Netzwerk-Datenaustauschs. Zwischen jeder Schicht gibt es Schnittstellen. Diese Schnittstellenabgrenzung definiert genau welche Information und welche Art an die nächste übergeben wird. Dieser Terminus ist für die Entwicklung von Geräten und deren Software notwendig damit ein reibungsloser Ablauf in dieser Netzwerkarchitektur garantiert werden kann. Das ISO-OSI-Referenzmodell ist ein weltweit genormtes Modell der Netzwerkarchitektur und wurde 1995 als Weiterentwicklung eines Modells der International Standards Organization, kurz ISO, vorgestellt. OSI steht dabei für Open Systems Interconnection und behandelt die den Protokollablauf in Schichten für Kommunikationsoffene Systeme.

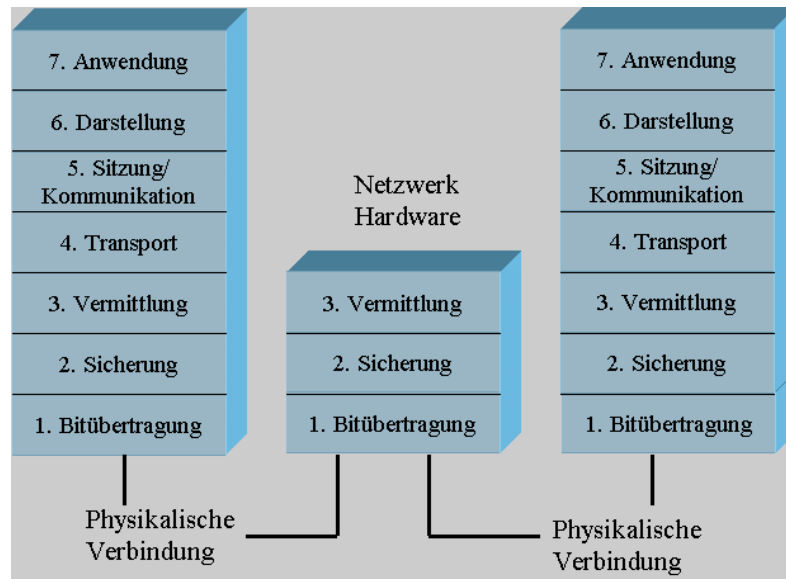
Nachfolgend wird der Autor kurz auf die einzelnen Schichten eingehen. Beginnend bei der ersten Schicht der Bitübertragungsschicht, Physical Layer. „Die Bitübertragungs-

28 Andrew S. Tannenbaum, S. 41 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

29 Andrew S. Tannenbaum, S. 41 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

30 Andrew S. Tannenbaum, S. 42 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

schicht (physical Layer) betrifft die Übertragung von reinen Bits über einen Kommunikationskanal.³¹ Dabei spielen mechanische und elektrische Fragen die Hauptrolle in dieser Schicht. Welches Medium dient als Übermittler, welche Schnittstelle wird verwendet, wie lange dauert eine Übertragung ist diese bidirektional und andere Fragen werden an dieser Stelle der Übertragung thematisiert. Die zweite Schicht ist die Sicherungsschicht.



Die Hauptaufgabe der Data Link Layer ist es der Vermittlungsschicht eine Übertragung zu garantieren. Diese Übertragung muss sicher und zuverlässig sein. Dafür werden die Eingangsdaten in Data Frames aufgeteilt. Anschließend erfolgt die sequentielle Übertragung der einzelnen Frames. Als Antwort auf eine erfolgreiche Übertragung werden dem Sender Acknowledgement Frames zurückgeschickt, damit dieser von einer positiven Übertragung unterrichtet wird. Aufgrund der höheren Auslastung bei Seiten des Senders muss die Sendung der Bestätigungsrahmen, Acknowledgement Frames, kontrolliert werden, da es ansonsten zur Datenüberschwemmung beim Sender kommen kann. Dafür wird dem Empfänger die Pufferauslastung des Senders mitgeteilt. Um den Zugriff in Broadcastnetzwerken auf den gemeinsamen Übertragungskanal zu kontrollieren wurde in der Sicherungsschicht die MAC-Teilschicht eingeführt. Über der Sicherungsschicht befindet sich die Vermittlungsschicht. In der sogenannten Network Layer wird der Betrieb des Verbindungsnetzes gesteuert. In dieser Ebene wird das Routing

31 Andrew S. Tannenbaum, S. 55 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

der einzelnen Pakete durch das Netzwerk festgelegt. Nach welchen Prinzipien geroutet wird, ist durch den angewendeten Routing Algorithmus bestimmt. Werden zu viele Pakete auf dem gleichen Weg übertragen kommt es zu Verbindungsengpässen. Es ist in der Verantwortung der Vermittlungsschicht für eine ausreichende Qualität zu sorgen. Bei Broadcastsystemen werden die Pakete immer an alle Hosts gesendet, hier ist die Vermittlungsschicht nur sehr gering oder sogar überhaupt nicht vorhanden. Als nächste Schicht folgt die Transportschicht. In der Transport Layer werden Daten von der Sitzungsschicht übernommen und zerlegt. „Die Transportschicht ist eine echte Endpunkt-zu-Endpunkt-Schicht (End-to-End-Layer) von der Quelle hin zum Ziel.“³² Das bedeutet, dass die Informationen die in der Transportschicht verpackt werden, erst wieder am Ziel gelesen werden. In den Schichten 1-3 wird jede Information an der nächsten Gegenstelle gelesen, ausgewertet und weiterverarbeitet, um diese weiter übermitteln zu können. Eine weitere Aufgabe der Transportschicht ist die Art des Dienstes zu wählen. Soll die Information als Broadcast, Unicast oder Multicast verschickt werden. In der Transport Layer müssen selbst bei Hardware Änderungen alle Funktionen effizient und fehlerfrei ausgeführt werden können. Über der Transportschicht befindet sich die Sitzungsschicht, im englischen als Session Layer bezeichnet. „Die Sitzungsschicht ermöglicht es Benutzern an verschiedenen Rechnern, Sitzungen untereinander aufzubauen. Sitzungen stellen verschiedene Dienste zu Verfügung,...“³³ In der Sitzungsschicht wird darauf geachtet, dass in einem Netzwerk der selbe Dienst nicht parallel ausgeführt wird oder auch die Synchronisation bei einem Ausfall bei einem bestimmten Punkt wieder aufgenommen werden kann. Die sechste Schicht des OSI-Referenzmodells ist die Darstellungsschicht, Presentation Layer. „Damit Computer mit unterschiedlichen Datendarstellungen kommunizieren können, müssen die ausgetauschten Datenstrukturen auf abstrakte Weise definiert werden, zusammen mit der Standardkodierung, die >>in der Leitung << verwendet wird.“³⁴ In der Darstellungsschicht werden diese Datenstrukturen verwaltet und bietet somit die Definition und den Austausch auf anderen Ebenen an. Als letzte Schicht des Modells ist die Anwendungsschicht, Application Layer, im Referenzmodell zu finden. In der Anwendungsschicht befinden sich eine Vielzahl von Protokollen die für den Benutzer relevant sind. Das bekannteste ist beispielsweise das HTTP. Damit kann ein Nutzer über das Netzwerk eine Seite auf einem Server über einen Browser anfordern. Es gibt noch zahlreiche weitere Protokolle die für den Datenaustausch und E-Mail Verkehr beispielsweise in diese Kategorie fal-

32 Andrew S. Tannenbaum, S. 57 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

33 Andrew S. Tannenbaum, S. 57 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

34 Andrew S. Tannenbaum, S. 58 Computernetzwerke, 4. Auflage 2003

len. Die Anwendungsschicht ist somit die Schnittstelle zwischen Nutzereingaben und Ausführungen im Netzwerk in den unteren Schichten. Neben dem OSI-Referenzmodell gibt es noch das TCP/IP-Modell. Auch das TCP/IP Modell arbeitet mit einem unabhängigen Protokollstack. In der Entwicklung der Modell war es der ISO nicht möglich schnell genug passende Protokolle für das OSI-Referenzmodell zu definieren, so kam es dass die TCP/IP- Protokolle in das sieben Schichtigkeit OSI-Modell aufgenommen wurden. Heute funktionieren fast alle Netzwerke mit dem TCP/IP-Protocolstack. Eine Übersicht der Protokolle in den Schichten gibt Tabelle 1³⁵.

Schicht 7	Anwendungsschicht	FTP, HTTP, SMTP, NNTP
Schicht 6	Darstellungsschicht	FTP, HTTP, SMTP, NNTP, NetBIOS
Schicht 5	Sitzungsschicht	FTP, HTTP, SMTP, NNTP, NetBIOS, TFTP
Schicht 4	Transportschicht	TCP, UDP, SPX; NetBEUI
Schicht 3	Vermittlungsschicht	IP, IPX, ICMP, T.70, T.90, X.25, NetBEUI
Schicht 2	Sicherungsschicht	LLC/MAC, X.75, V.120, ARP, HDLC, PPP
Schicht 1	Bitübertragungsschicht	Ethernet, Token Ring, FDDI, X.25, Frame Relay

Tabelle 1: Tabelle 1: Protokolle der OSI-Schichten

Damit aber Netzwerke optimal funktionieren, sollte man ein besonderes Augenmerk auf die Topologie bei der Installation legen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Hosts in einem Netzwerk zu vernetzen. Die einfachste und mit geringstem Kabelaufwand verbundene Topologie, ist der Ring. Im Ring sind die Hosts ringförmig verbunden. Das Problem dabei ist, fällt ein Client aus, kann der Ring nicht mehr kommunizieren. Mehr Sicherheit hingegen liefert das vermaschte oder in Extremform, das vollvermaschte Netzwerk. Dabei ist jeder Client mit jedem anderen Client direkt verbunden. Bei dieser Topologie ist der größte Verkabelungsaufwand zu erwarten. Eine einfache und auch Client unabhängige Verkabelungsmethode ist der Bus. Diese Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung bietet kurze Kommunikationswege und ist Ausfallsicher im Falle eines Client Defekts. Sollte allerdings die Busleitung ausfallen, findet keine Kommunikation mehr statt, das Netzwerk ist tot. Mit der Verwendung eines Hubs oder Switches kann eine Sterntopologie errichtet werden. Dabei sind alle Clients Sternförmig als Punkt-zu-Punkt-Verbindung mit dem Switch verbunden. Dieser regelt dabei den Datenfluss zwi-

35 UNBEKANNT; Das OSI-Schichtenmodell in der Praxis, 2015; <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0301201.htm>

schen den Hosts. Jede Topologie hat Vorteile und Nachteile. Durch eine geschickte Kombination verschiedener Topologien, können Vorteile verknüpft und Nachteile teilweise ausgeglichen werden. Durch die Verwendung von Sternen und vermaschten Netzwerken kann bei einer Systemstörung ein Teil des Netzwerkes am Leben gehalten werden, sollte ein Teilbereich ausfallen. Eine Endgültige Sicherheit kann allerdings nie ein System vollends gewährleisten.

Für die Konzeption eines Switch basierten Lokalen Netzwerkes kann man durch die Wahl des Signalverteilers erheblichen Einfluss auf das Netzwerk nehmen. Solche Switches werden anhand ihrer Funktionsweise in zwei Kategorien eingeteilt. Man unterscheidet in Layer 2 und Layer 3 Switches. Dabei ist die Schicht auf das OSI-Referenzmodell bezogen. Layer 2 Switches arbeiten MAC-Adressen basiert auf Layer 2 des Netzwerkes. Dabei kennen sie die erlernten Mac-Adressen der angeschlossenen Gegenstellen im Netzwerk. Erreicht ein Paket den Switch, so gleicht er die Ziel-Mac-Adresse des Pakets mit seiner erlernten MAC-Adressen Datenbank ab. Erkennt er einen Teilnehmer, sendet er diesem das Paket. Ist der Adressat des Pakets Unbekannt, so sendet er das Paket, als Broadcast, an alle Ports und hofft, dass ein Teilnehmer den Adressaten kennt und das Paket zustellen kann. „Durch die steigende Nutzung von Weiterverkehrsverbindungen, die ausschließlich über diesen Router geführt wurden, verstärkte sich die „Bottleneck“-Situation dramatisch.“³⁶

Wächst das Netzwerk an Teilnehmern, und werden weitere Router eingesetzt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Switch einen Teilnehmer im Netzwerk nicht kennt. Somit kommt es häufiger zum Broadcasten der unzustellbaren Pakete. Die Bandbreite wird dadurch unnötig ausgelastet. In kleinen Netzwerken und nur einem eingesetzten Switch ist das Layer 2 Switching eine ausreichend effektive Methode. Das Netzwerk muss dadurch ebenfalls nicht mit großem Aufwand verwaltet werden, es ist Selbstadministrierend. Aufgrund der Tatsache das Netzwerke heutzutage komplexer werden, „verliert das Paradigma „Switch when you can, route when you must“ zunehmend seine Gültigkeit. Die Strategie „route once, switch many“ stützt sich auf die Idee einer Trennung von Wegwahlberechnungen und Weiterleitung.“³⁷

Ein Layer 2 Switch ist aufgrund der unnötigen Wegeberechnung wesentlich schneller als ein Layer 3 Router, der aufgrund der verwendeten Routing Algorithmen vor dem Senden eine Weganalyse macht. Für große Netzwerke sind Layer 2 Switches ein Störfaktor geworden. Aus diesem Antrieb entstand die Entwicklung von Layer 3 Routern.

36 Wolfgang Riggert; Netzwerktechnologien, S. 9; Fachbuchverlag Leipzig, 2003

37 Wolfgang Riggert; Netzwerktechnologien, S. 10; Fachbuchverlag Leipzig, 2003

	Layer-3-Router	Layer-2-Switch
Arbeitsweise	Die Weiterleitung der Pakete erfolgt auf Ebene 3 in Hardware nach den üblichen Routingprotokollen	Die Paketweiterleitung erfolgt anhand der MAC-Adressen auf der Ebene 2. Routing ist nur durch externe Router möglich.
Portcharakteristika	Jeder Port ist ein Routerport, der mindestens eine IP-Adresse besitzt und mindestens ein Subnetz unterstützt.	Die Switch-Ports verfügen über keine Routingfunktionalität und benötigen daher keine IP-Adresse oder die Möglichkeit der IP-Subnetz-Bildung.
Routerinteraktion	Auf Basis der zugrunde liegende Routingprotokolle werden Aktualisierungsinformationen zwischen den einzelnen Switches ausgetauscht.	Da ein Layer-2-Switch nur MAC-Adressen kennt, ist seine Funktionalität an keine Topologieinformation geknüpft.
Interoperabilitätsanforderungen	Ein vermaschtes Routernetz mit Komponenten unterschiedlicher Hersteller neigt zu Problemen bei der Zusammenarbeit. Viele Switches unterstützen z.B. nicht das Cisco-Protokoll IGRP.	Da die Schicht 2 vollständig standardisiert ist, bestehen im Zusammenspiel dieser Switch-Typen allenfalls bei der VLAN Bildung Schwierigkeiten

Tabelle 2: Unterscheidungsmerkmale der Switcharten³⁸

Diese führen das IP-Routing in Hardware aus, nicht wie Layer 2 die softwarebasiert die Paketverteilung übernommen haben. Im OSI-Referenzmodell kann es aber auf Layer 3 kein switching geben. Dieses ist der Schicht 2 vorbehalten. Nach Definition routet ein Layer 3 Router somit die Pakete durch das Netzwerk. Er entscheidet die Paketvermittlung anhand von IP-Adresse und Metainformationen in dem Header im Netzwerk. Layer-3-Router berechnen aber nicht nur Routinginformationen, sondern unterstützen für die Einrichtung von QoS-Diensten das RSVP-Protokoll.

Für das Verständnis von Übertragungen werden noch vier weitere Protokolle benötigt. Zum einen die Protokolle TCP und UDP sowie RTP und PTP. Für die Übertragung von Paketen von einem Sender an einen Empfänger kann der Sender mit TCP oder dem

38 Wolfgang Riggert; Netzwerktechnologien, S. 14; Fachbuchverlag Leipzig, 2003

UDP Protokoll mitteilen, wie der Empfänger mit dem erhaltenen Paket als Antwort umzugehen hat. Verwendet das Paket das TCP, Transport Control Protocol, so schickt der Empfänger nach erfolgreichen Erhalt eine Antwort zurück: Das Paket wurde erfolgreich übertragen, Empfänger wartet auf das nächste Paket. Nach der Antwort des TCP-Protokolls sendet der Sender das nächste Paket zum Empfänger. Bleibt eine Antwort vom Empfänger aus, wird nach einer bestimmten zeitlichen Frist, das Paket erneut gesendet. Solange bis eine Antwort des Rezipienten erfolgt oder durch ein Time Out die Übertragung abgebrochen wird. Jede Antwort auf ein erfolgreich übertragenes Paket sorgt für einen rückläufigen Datenaustausch zum Sender und belegt dabei eine gewisse Kapazität der Bandbreite. Möchte man bei einer Übertragung keine Antwort erhalten, weil eine erfolgreiche Übertragung nicht von Interesse ist, so hat man die Option anstelle des TCP das UDP-Protokoll zu verwenden. Das User Datagram Protocol, benötigt nach einer Übertragung an einen Sender keine Antwort an diesen zurück zu senden. Die Bandbreite wird dadurch geschont. Der Sender sendet ganz normal sequenziell alle Pakete einer zu übertragenden Information. Allerdings ist bei UDP nicht feststellbar ob und wie viele Datenpakete bei der Übertragung verloren gegangen sind. Für diese Feststellung wurde für Echtzeitmaterial wie Video und Audio das Real Time Protocol eingeführt. Das in der Anwendungsschicht eingesetzte RTP Protokoll verwendet im Header Informationen, die den Empfänger nachträglich die Übertragungsqualität beurteilen lassen können. Das heißt, der Rezipient kann feststellen, wie viel Pakete sind bei der Übermittlung nicht angekommen. Bei RTP erfolgt die Übertragung der Daten unverschlüsselt. Somit besteht die Gefahr die Inhalte abzufangen und auszuwerten. Das RTP Protokoll wurde aufgrund dessen als Secure Real Time Protocol, SRTP erweitert. Hier erfolgt die Übertragung verschlüsselt. „Mit dem PTP-Protokoll können die Zeitreferenzen von Atomuhren oder vom GPS-System mit der exakten, absoluten Uhrzeit und höchster Genauigkeit an alle im Netz angeschlossenen Stationen verteilt werden.“³⁹ Durch diese Verteilung der Zeitreferenzen können alle im System befindlichen Geräte absolut Zeit synchron arbeiten. Durch die Feststellung einer Best Master Clock wird das System immer auf die exakteste im System laufende Uhrzeit synchronisiert. Da auch in einer Broadcastumgebung alle Geräte durch ein Analoges Videosignal, welches in der Regel durch einen GPS-Empfänger generiert wird, getaktet werden, ist das Precision Time Protocol das wichtigste Protokoll für die Synchronisierung bei SDI over Ethernet.

39 UNBEKANNT; PTP (precision time protocol), 2015; <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/precision-time-protocol-PTP.html>

2.3 SDI over Ethernet

„Internet protocol-based technology has been the future of broadcasting for years, but there have always been areas, particularly for live production, where specialist technology, such as SDI, has prevailed because nothing else could do the job so well. However, advances in IP-based systems could change that.“⁴⁰

Die digitale Vernetzung ist unser täglicher Begleiter. Mit Begriffen wie Cloud Computing, Social Network oder Server orientierter Workflow sehen wir uns privat aber auch beruflich solchen Begriffen gegenübergestellt. Netzwerkbasierende Produktionsumgebungen sind im Audibereich schon lange im Einsatz. Proprietäre Netzwerke wie Cobra-Net, Dante, D-Mitri und andere haben einen enormen Einfluss auf die Entwicklung der AVNu Alliance und somit dem AVB Standard voran getrieben. Ältere Proprietäre Netzwerke konnten man aber eher als einen Datenstrom sehen als ein Netzwerk im eigentlichen Sinne. Dennoch die Idee alle Signale flexibel und bidirektional an alle Endstellen eines Netzwerkes verteilen ist für uns im Alltag eigentlich schon selbstverständlich. Im Videobereich von Broadcastern sieht die Realität anders aus. Hier dominiert die Videokreuzschiene als Herzstück des Systems und verteilt in einer Sterntopologie die Signale. Jedes Videogerät muss für jedes Ausgangssignal oder auch Eingangssignal mit einer Steckkarte auf der Videokreuzschiene verbunden werden. Dabei ist es sogar richtungsrelevant.

In Anbetracht dieser Situation kann man schon erkennen, dass es nicht die bestmögliche Lösung für die Zukunft sein kann. In Havarie-Situation der Kreuzschiene, hat man wenig Havariemöglichkeiten ohne diese auszukommen. Somit ist es nicht verwunderlich, dass einen großen Forschungsdrang für Netzwerkbasierende Infrastrukturen gibt. Als zwei große Technologie Vertreter können wir die AVNu Alliance mit AVB nennen und Society of Motion Pictures and Television Engineering mit der Standardfamilie 2022. Wie diese Technologien funktionieren und wie Probleme bewältigt werden, wird nachfolgend in den nächsten Abschnitten für jeden Bereich einzeln erklärt.

2.3.1 SDI over IP mit SMPTE ST 2022

Die „Gesellschaft für Bewegtbilder und Fernsehingenieure“ SMPTE hat 2007 damit begonnen die ersten Standards für die Übertragung von SDI Signalen über Netzwerk zu definieren. „First introduced in 2007, the SMPTE 2022 standard has since expanded to cover more types of IP video transport. The first two sections of the standard cover IP

⁴⁰ David Cox; SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

protocols for compressed, constant bit-rate video signals in MPEG-2 transport streams, based on COP3 from the Pro MPEG Forum. Newer sections of the standard cover two different kinds of variable-rate compressed video signals, as well as methods for carrying uncompressed video and hitless protection switching.⁴¹, so Wes Simpsons in seiner Kolumne in der TV Technology.

Die wichtigsten Themen waren zunächst die Fehlerkorrektur, FEC, zu bestimmen und zu realisieren. Als nächstes wurden unter ST-2022-2/3 ein zunächst unidirektionaler konstanter Bitstrom und anschließend ein unidirektionaler variabler übertragener Bitstrom definiert. Dabei waren die Signale in einem MPEG-2-TS Container gepackt um das Datenvolumen zu verringern. Mit den Standards ST-2022-5 und 6 wurden die Fehlerkorrektur und die Übertragung von unkomprimierten oder High Bit Rate Media Transport (HBRMT) festgehalten. Das Problemlose umschalten zwischen zwei oder mehreren Videosignalen wurden 2013 in dem Standard 2022-7 in die Realität umgesetzt. Bei SMPTE 2022 wird das Broadcastsignal, welches Video, Audio, Meta oder Steuerdaten enthalten kann, Paketweise im IP Protokoll verschickt. Zunächst muss das Echtzeitsignal dafür in Pakete zusammengefasst werden. Dieses Zerlegen in Pakete und verschachteln in die Netzwerkprotokolle wird auch wrapping genannt. Mit diesen praktischen Werkzeugen und Rahmenbedingungen ist einer performanten Echtzeit Videoübertragung nach Paul Shen, dem Geschäftsführer von TVU Networks, der Übertragung über IP nicht mehr im Weg: "if you implement the necessary tools such as forward error correction and variable bitrate encoding in the transmission, IP can easily handle live video"⁴². Für die Übermittlung von Echtzeitdaten benötigt man allerdings etwas andere Anforderungen an das Netzwerk als in normalen IT Umgebungen. Das bestätigt auch Jan Weigner „IP networks can be much more reliable than SDI networks especially when it comes to seamless failover. You just need the right stuff - the right switches, proper cabling and of course the right architecture to start with.“⁴³ Der gleichen Überzeugung ist der Geschäftsführer von Axon Digital Design Jan Eveleens, „Standard IT networks are not really suitable for transport broadcast quality realtime video (and audio) as these networks lack mechanisms for synchronisation/timing and offer insufficient quality of service (guaranteed throughput/bandwidth and delivery)“⁴⁴.

41 Wes Simpson; SMPTE 2022 and the Future of Video Over IP, 07.09.2013; <http://www.tvtechnology.com/insight/0083/smp2e--and-the-future-of-video-over-ip/220188>

42 Paul Shen, SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

43 Jan Weigner, SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

44 Jan Eveleens, SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

Bei der Übertragung von Echtzeit Material über einen IP Datenstrom gibt es also verschiedene Probleme die eine reibungslose Übertragung entstehen können. Ein wichtiges Kriterium ist die Latenz. Das Umschalten von Videosignalen, wie beispielsweise am Bildmischer, stellte eine große Herausforderung dar. Wie garantiert man eine genügend hohe Bandbreite bei variabel anfallenden Datenmengen in diesem Transport Strom? Wie garantiere ich die Übertragungssicherheit vom Startpunkt zum Endpunkt über verschiedenen Knotenpunkte hinweg?

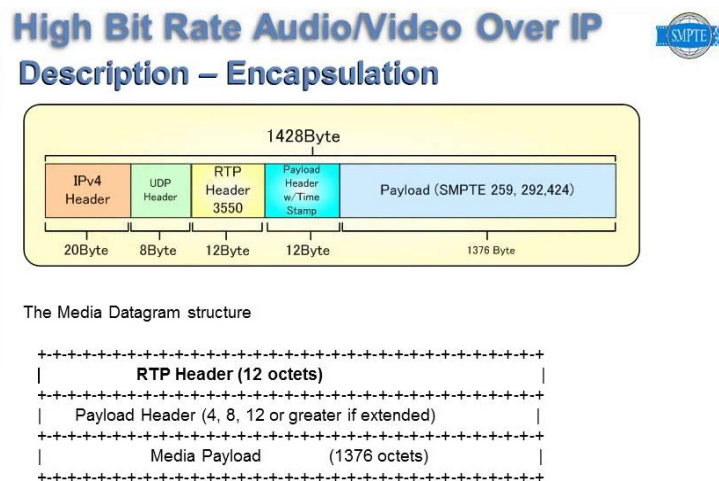


Abbildung 2: Protokollübersicht in einem Paket bei SMPTE 2022

Die Society of Motion Pictures and Television Engineers hat mit der Standardfamilie 2022 viele Probleme lösen können. In der Abbildung 2 lässt sich das Wrapping und die verschiedenen angewendeten Protokolle erkennen. Prinzipiell lassen sich die Protokolle von links nach rechts mit absteigender Hierarchie lesen. Im IPv4 Header stehen physikalische Netzwerkinformationen von Sender und Empfänger, wie beispielsweise die IP-Adresse. Dadurch ist es dem Router möglich Das Paket entsprechend der gewünschten Destination durch das Netzwerk über alle kommenden Knoten zu leiten. Ist das Paket beim Empfänger angekommen, packt dieser es aus und schaut sich das nächste Protokoll an. Das zweite Protokoll zeigt dem Empfänger wie er auf das empfangene Paket antworten muss. Dabei gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten, TCP und UDP. Bei dem UDP Protokoll verlangt der keine erfolgreichen Übertragungsnachweis, der Sender geht somit einfach von einer erfolgreichen Übertragung aus. Beim TC-Protokoll verlangt der Absender hingegen einen Empfangsnachweis, in dem der Empfänger eine positive Übertragungsmitteilung an den Ursprung zurück sendet. Um auf die-

sen zusätzlichen Datenverkehr zu verzichten, hat man sich bei SMPTE für UDP entschieden.

Als drittes Protokoll ist das RTP, Real Time Protokoll enthalten. Diese beinhaltet eine Zeitmarke für die zeitliche Zuordnung der Pakete und bei der Übertragung mit einem Fehlerschutz auch 12 Bits für diesen. Die wichtige Information wie das Ende des Videoframes wird im Markerbit des RTP Header festgehalten. Der Payload Type, also welche Form von Video wird übertragen, ist ebenso im hier enthalten. Der RTP Zeitstempel wird ein Synchronsignal mit einer Frequenz von 27 MHz verwendet. Dieser ist später für ein Framegenaues schneiden enorm wichtig. Nach dem RTP Header folgt der Payload Header. Hier befinden sich direkte Medieninformationen. Im Payload Header wird definiert welche Signalart übertragen wird. Der Payload kann unkomprimiertes SDI, HD-SDI oder 3G-SDI enthalten. Alternativ können aber auch komprimierte Videodaten übermittelt werden in Form eines MPEG 2 Transportstroms oder im J2K Format. SMPTE hat auch MXF-Daten in Zukunft in Aussicht gestellt. Im Payload Header sind weiterhin die StreamID, FRCOUNT, Reference Angaben, FEC, Clock Frequenz, Frame, Frame Rate und letztlich auch der Video Zeitstempel enthalten. Abschließend nach dem Payload Header folgt der Payload selbst. Hier ist das Videosignal nach den im Header beschriebenen Informationen enthalten. Ebenfalls können Audio und Metadaten im Payload integriert zum Videosignal übertragen werden. Diese werden im Englischen allgemein als ANC, Ancilliary Data Space bezeichnet. Das Datenpaket Selbst hat insgesamt immer eine konstante Größe von 1428 Byte. Dadurch ergibt sich auch eine bekannte Größe, wie viele Datenpakete für ein Videosignal bei welcher Auflösung und Abtastrate benötigt werden. So benötigt man beispielsweise für ein 1080p50 Videosignal 5.400 Datenpakete pro Frame, also pro Vollbild.

Um eine hohe Übertragungsqualität erreichen zu können gibt es bei SMPTE 2022 die Möglichkeit zur Verwendung eines Fehlerschutzes. Der FEC kann in zwei Varianten differenziert werden. Der 1D und der 2D Fehlerschutz. Bei beiden Varianten kann der Fehlerschutz variabel eingestellt werden in dem man zwischen einer und 1020 Zeilen sowie 4 und 155 Spalten wählt. Je Anzahl der Zeilen und Spalten ergeben sich FEC-Pakete die durch Hash-Summen den Inhalt auf Korrektheit überprüfen. Umso mehr Zeilen und Spalten also gewählt werden, umso größer ist mein Fehlerschutz, aber auch das zu übermittelnde Datenvolumen. Die Überprüfung der übertragenen Pakete auf Fehlerschutz kostet Zeit die sich letztlich bei der Übertragung auf die Latenz auswirkt. Also ist die Latenz abhängig vom gewählten Fehlerschutz. Die Fehlerschutz Variante 1D überprüft nur Spalten. Der Fehlerschutz 2D überprüft Spalten und Zeilen. Ein Vorteil des FEC generell bei diesem Standard ST 2022 ist folgender: Der Sender kann

einen gewählten Fehlerschutz immer mit senden. Es bleibt dem Empfänger überlassen ob er das ankommende Signal überprüft oder nicht. So ist es möglich Latenzen bei Strecken bei denen die Qualität nicht die wichtigste Rolle spielt niedrig zu halten und bei qualitativ hochwertigen Strecken, an denen Latenzen mitunter keine große Rolle spielen, weil diese auch unter Umständen nicht messbar ist, zu zulassen.

Betrachtet man nun das nächste Problem von SDI over IP, das Bildgenaue Umschalten zwischen zwei verschiedener Bildquellen. „Switching between two SDI sources must be executed according to RP168-2009 for the down-stream devices to handle the change seamlessly. Both signals must be synchronized and the actual switch-over must occur within line 6 (for PAL), 10 (for NTSC) or 7 (for HD).“⁴⁵ Da, anders als beim SDI, das Bildsignal nicht seriell Zeile für Zeile sondern Paket basiert übertragen wird, ist das Umschalten eine schwierige Aufgabe für SMPTE 2022. Glücklicherweise ist „shortest SDI line (NTSC with 2145 Bytes) is much longer than an HBRMT packet’s payload“⁴⁶. Dieser Vorteil bewirkt, dass es in jeder Zeile einen möglichen Umschnittpunkt gibt. Sorgt man für einen ausreichenden Buffer der anliegenden Signale ist es möglich das Signal am notwendigen Umschnittpunkt umzuschalten. Aber die Entwicklung des Precision Time Protocols macht es möglich auch ohne ein zusätzliches Synchronsignal umzuschneiden. „With the rise of the Precision Time Protocol (PTP/IEEE1588), a UDP/IP-based clock synchronization protocol with up-to-a-nano-second precision, a possible solution is offered to synchronize SDI-over-IP sources without the need of additional cables and equipment, such as for the currently used Black Burst or Tri Level Sync.“⁴⁷

Aufgrund des Wrappings des SDI Signals in einem IP-Paket kann das Echtzeitvideo über eine normale IT Infrastruktur übertragen werden. Die Übertragung kann auch über bereits bestehende Strukturen erfolgen und benötigt prinzipiell keine eigene, gesonderte Hardware. Durch die Verwendung des Internet Protocols erfolgt der Transport bei ST 2022 auf Layer 3, der Vermittlungsschicht statt. Dies ermöglicht eine Übertragung von Signalen über das LAN hinaus. Die Daten können weltweit über das WAN somit übertragen werden. Ein Signalaustausch über Satellit, wie er heutzutage stattfindet, wäre dadurch nicht mehr unbedingt notwendig. Durch die Übertragung der Inhalte in nicht eigenen Netzwerken, ist das Management und der Zugriff schwer händelbar. Prinzipiell kann der QoS, Quality of Service von Startpunkt zu Endpunkt nicht garantiert

45 Matthias Laabs, EBU Technical Review, 28.11.2012, https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2012-Q4_SDI-over-IP_Laabs.pdf

46 Ebd

47 Ebd.

werden. Die Bandbreitenauslastung kann von zusätzlichem Traffic stark belastet werden, dass eine garantierte Übertragung aller Pakete nicht gewährleistet werden kann. Für diesen Fall muss der FEC in der zweiten Dimension, 2D, genutzt werden. Der Punkt der mangelnden Netzwerkpriorisierung und des nicht eigenmächtigen Managements des Netzwerks sind ein großer Kritikpunkt dieser Technologie. Für einige Anwendungsfälle oder sogar das Errichten einer eigenen Infrastruktur einzig für diesen Verwendungszweck relativieren diesen Negativpunkt der ST 2022 Standardfamilie der Society of Motion Pictures and Television Engineers.

2.3.2 AVB

Anders als bei dem Standard ST2022 der Society of Motion Pictures and Television Engineers fördert eine Unternehmens Allianz aus verschiedenen Branchen die Etablierung des AVB Standards. Diese Vereinigung wird AVnuAlliance genannt. Sie besteht aus einer Vielzahl von Broadcastherstellern, wie beispielsweise Riedel, Avid, Meyer Sound, Shure, Axon und weiteren. Als Netzwerkspezialisten sind unter anderem Intel, Cisco, Texas Instruments vertreten. Die Liste der aktiven Teilnehmer der Allianz lässt sich beliebig weit fortsetzen.

Audio Video Bridging hat das Ziel, hochqualitative, teilweise sogar unkomprimierte Echtzeit Signale, wie Video und Audio ohne Verluste in einem lokalen Netzwerk zu transportieren. "In comparison, AVB is designed for the local area or facility only, does not support any options for compression and demands specialised Ethernet infrastructure. In order to transport AVB mapped content over IP networks, converters from AVB to IP are necessary, which represents a huge disadvantage on the way to an all-IP broadcast world."⁴⁸ An diesem Punkt differenzieren wir zunächst den wichtigsten Unterschied, bei AVB zu ST 2022. AVB zerlegt ebenfalls Video und Audio Material in Pakete, damit es im Netzwerk übertragen werden kann, aber es verpackt es nicht in ein IP-Protokoll. Somit ist es nicht ohne Hilfsmittel für einen Einsatz außerhalb eines Lokalen Netzwerkes, LAN, unbedingt geeignet. Die bessere Bezeichnung für AVB ist somit SDI over Ethernet, als SDI over IP. Die AVnuAlliance setzt bei dem Einsatz in einem Netzwerk auf durch die IEEE, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Für die Weiterentwicklung von Standards für AVB wurde bei der IEEE eine sogenannte Task Force gegründet, die IEEE 802.1 Audio/Video Bridging Task Group⁴⁹. Die wichtigsten

⁴⁸ Thomas Heinzer, SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

⁴⁹ Vgl. Michael Johas Teener, No-excuses Audio/Video Networking: The Technology Behind Avnu, Seite 5, 2009; <http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/No-excuses-Audio-Video-Networking-v2.pptf>

stellen, dass der Empfänger erreichbar ist, die Bandbreite auf der kompletten Übertragungsstrecke ausreichend ist und die Latenz akzeptabel ist. „Talkers initiate by sending an SRP “talker advertise” message [...] includes a Stream ID composed of the MAC address of the stream source plus a talker-specific 16-bit unique ID and the MAC address of the stream destination. Additionally, the “talker advertise” message includes QoS requirements (e.g., AVB traffic class and data rate information), and accumulated worst case latency. All AVB intermediate bridges receiving a “talker advertise” message check for bandwidth availability on their output ports. If the bridge has sufficient resources available on that port, then the “talker advertise” is propagated to the next station.“⁵⁰

Neben dieser Vorbereitung des Netzwerks für den Transport werden in Gelegentlichen Abständen über das Netzwerk Timing Pakete für die Gerätesynchronisation übertragen. Die Timing Pakete enthalten das PTP Protokoll, wie es auch bei SMPTE ST 2022 eingesetzt wird. Dafür gibt es im Netzwerk einen Clock Grandmaster, der an der nächsten Verteilung das Paket an alle Ports weiterverteilt. Im Eingangsport am Switch der Clock ist dieser als Clockslave geschaltet, bei den Portausgängen als Clockmaster, sodass die Endgeräte im Netzwerk alle ein Master Synchron Signal erhalten. Dadurch können alle Streams im Netzwerk Synchron gehalten werden. Durch diese Synchronität der Streams kann ohne Komplikationen im an Geräte Framegenau zwischen zwei Streams umgeschaltet werden.

Diese Anforderung an ein Netzwerk kann ein normales IT-Netzwerk nicht erfüllen. Ein IT Netzwerk ist zeitunabhängig. „There is no concept of “time” in an IT network – There is nothing in the network infrastructure itself that can aid in synchronization or provide any kind of precision timing mechanism.“⁵¹ Latenzen für Echtzeitsignale können durch ein Vorladen in einem Puffer minimiert werden, aber auch hier kommt es zu Überbelastungen, vor allem bei mehreren Streams. Alternativ können aber auch strenge und unflexible Netzwerke oder Layer-3 Netzwerke eingesetzt werden. Wie aber im Kapitel 2 Grundlagen der Netzwerktechnik zu lesen ist, sind Layer 3 Netzwerke schwieriger zu administrieren, sie sind „langsamer“ da Signale geroutet werden und Hardware Komponenten sind teurer als einfache Layer-2-Switches. In einem AVB Netzwerk werden durch die „Talker Advertise“ Pakete die Datenströme automatisch priorisiert. Für die „Talker Advertise“ Pakete, Sync Pakete und andere nicht AV Daten stehen 25% der Bandbreite zur Verfügung. Die restlichen 75% der Bandbreite stehen allein dem Audio

50 Michael Johas Teener, No-excuses Audio/Video Networking: The Technology Behind Avnu, Seite 7f, 2009; <http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/No-excuses-Audio-Video-Networking-v2.pdf>

51 Michael Johas Teener, No-excuses Audio/Video Networking: The Technology Behind Avnu, Seite 4, 2009; <http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/No-excuses-Audio-Video-Networking-v2.pdf>

und Video Transport zur Verfügung. Aufgrund der Layer 2 Architektur und dem Einsatz der AVB Standards und Chips ist das komplette Netzwerk Selbstorganisiert. Es kann ohne enorme Vorkenntnisse im IT Wesen aufgebaut und verwaltet werden. Ein weiterer Vorteil eines AVB Netzwerkes ist das durch die Priorisierung und die „Talker Advertise“ Pakete kein Fehlerschutz für das Videosignal notwendig ist. Die Latenzabhängigkeit wie bei ST2022 ist bei AVB kein Problem. Werden dem Netzwerk nicht AVB Komponenten hinzugefügt, so registriert das Netzwerk diesen Datenaustausch und stuft diesen als unwichtig ein. Dadurch kann immer eine enorme Qualität bei der Übertragung erreicht werden. Das System ist im allgemeinen Störsicher.

AVB entwickelte sich aus proprietären Audionetzwerken weiter. Vertreter solcher Netzwerke sind DANTE, CobraNET, D-Mitri und andere. Diese Audionetzwerke werden auch weiterhin in einem AVB-Netzwerk unterstützt. Anders als herkömmliche Layer 2 Netzwerke kann ein AVB Netzwerk Multicast⁵². Dadurch ist es einem Talker möglich, mehrere Listener zu erreichen. Dafür ist allerdings eine Layer 3 Logik erforderlich⁵³. Diese kann über das Anlernen von Benutzergruppen in den Switchen realisiert werden oder durch intelligente Talker, die alle Teilnehmer kennen. „[I]f one would try to scale an AVB network to replace an HD-SDI matrix, the AVB network would be limited to the equivalent of a 2x2 matrix.“⁵⁴ Heute gibt es zahlreiche Installationen von Audio-AVB Netzwerken. Das aber Aussagekräftigste Beispiel für Sicherheit und Zuverlässigkeit von AVB ist die Installation beim US Militär. AVB ist ein vielversprechender Vertreter von Zeitrelevanten Übertragungen in einem Netzwerk. Nicht nur Broadcaster sehen in dieser Technologie einen guten erfolgreichen Partner für die Zukunft sondern auch die Automobilindustrie, im Maschinenbau und die Heimelektronikbranche. Alle Branchen sind bei weitem größer und einflussreicher als die Broadcastindustrie. Dieser Zusammenschluss verschiedener Interessenspartner kann sich bei der Entwicklung positiv auch für Broadcaster herausstellen. Die Entwicklung kann dadurch schneller vorangetrieben werden und die Entwicklungskosten können großflächiger verteilt werden.

52 Unbekannt; AVB Resource Guide; http://c353616.r16.cf1.rackcdn.com/Biamp_AVB_Reference_Guide.pdf

53 Prof. Dr. Thomas Schmidt; Layer 2 Multicasting; <https://users.informatik.haw-hamburg.de/~schmidt/maw/L2-mcast.pdf>

54 Lieven Vermaele; SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

3 Broadcaststrukturen

Installationen in Broadcastumgebungen sind sehr komplexe, weitläufige und einzigartige Systeme. Dabei müssen verschiedene Komponente von unterschiedlichen Herstellern mit einander vernetzt und konfiguriert werden. Der resultierende hohe Verkabelungsaufwand solcher Umgebungen müssen genau geplant und abgestimmt werden. Oftmals werden viele Kilometer unterschiedlicher Kabeltypen verlegt. Dabei greifen verschiedene Steuersignale, Audio und Videosignal wie Zahnräder in einander. Es muss sichergestellt werden, dass dem richtigen Videosignal das korrekte Audiosignal beigelegt wird. In SDI Umgebungen sind heutzutage eingebettete Audiosignale in den Videosignalen üblich. Man spricht von embedded Audio. Das Audiosignale mit den Videosignalen verheiratet werden können, bedarf es spezieller Hardware. Zunächst betrachtet sind alle Sparten wie Video, Audio, Steuerung, IT und auch Grafik einzelne System, aber am Ende müssen die Signale auch untereinander ausgetauscht werden können. Am Ende einer solchen langen Kette können aber auch Geräte nicht korrekt funktionieren. Damit der Sendeablauf aber nicht gestört wird, müssen im Havariefall Lösungen zur Verfügung stehen, die einen fehlerfreien Ablauf weiterhin ermöglichen.

Wie eingangs bereits erwähnt wurde, sind solche Systemlösungen im Broadcastbereich nicht universell und es gibt keine Musterlösung. Selbstverständlich gibt es wiederkehrende Situationen oder auch eine Bandbreite an Geräten die in allen Installationen vorzufinden sind. Der Einsatzbereich und die Anforderung wird aber immer speziell vom Kunden vorgegeben und bleibt einzigartig. Aus diesem Grund stellen die nachfolgenden Kapitel keine allgemeingültige Antwort auf solche Anforderungen dar, sondern bilden lediglich einen vergleichbaren Rahmen für aktuelle Systeme und Möglichkeiten zur Integration von AVB sowie SMPTE 2022.

3.1 aktuelle Broadcastsysteme

Broadcastsysteme im Fernsehbereich bestehen aus kleineren Teilbereichen die im Ganzen ein komplexes System bereitstellen, die nur ein einziges Videosignal mit integriertem Audio und Grafiken an eine Sendeabwicklung übertragen und anschließend im Programmablauf den Haushalten zur Verfügung stellt. Dieses Konzept klingt prinzipiell simpel. Um dies allerdings realisieren zu können, bedarf es vieler Signale die verteilt, editiert, integriert oder gemischt werden müssen.

Als Analogie zum Verständnis wird eine einfache Situation eines Nachrichtenprogramms dargestellt. Ein Sprecher in einem Studio mit einem Studiomonitor für Grafiken. Für ein Bildsignal vom Sprecher benötigt man eine Kamera. Diese Kamera muss in verschiedenen bildmesstechnischen Parametern einstellbar sein. Um die Nachricht des Sprechers hören zu können, muss dieser ein Mikrofon besitzen. Auf dem Monitor hinter dem Sprecher werden Bilder zu den Nachrichten angezeigt. Diese werden als Videoeinspieler in das Programmbild geschnitten. Diese vorbereiteten Videos haben aber ebenfalls integriertes Audiomaterial. Somit muss ein Audiomischpult für die verschiedenen Audiosignale bereitgestellt werden. Weiterhin muss eine Möglichkeit geben, die Videoelemente für die Sendung abzuspeichern und einzuladen. Man spricht von sogenannten Clipservern. Um alle anliegenden Videosignale auf einen Ausgang schneiden zu können, benötigt man ein Bildmischpult. Darin werden verschiedenen Quellen auf Senken, oder auch Ausgänge, Outs genannt, geschaltet. Um in dem Programmbild Inserts wie Bauchbinden oder ähnliches einzufügen, benötigt man ein Grafiksystem mit Schriftgenerator. Zur Beurteilung aller Audio und Videosignale bedarf es einer hohen Anzahl an Videomonitoren und Lautsprechern. Damit vor allem die Videosignale in dem System verteilt werden können, wird eine Videokreuzschiene installiert. Durch ein Kreuzschienencontroller System werden die darauf ankommenden und abgehenden Leitungen verknüpft. Man routet somit sein Videosignal auf seine entsprechende Senke. An dieser einfachen und kurzen Beschreibung zeichnet sich bereits ab, wie aufwendig selbst eine kleine Nachrichtenproduktion ist. Im Normalfall werden diese aber noch weit aufwendiger und komplexer produziert. Die meisten Geräte in solchen Installationen können über in einer Weboberfläche konfiguriert werden. Das setzt einen Netzwerkanschluss und eine Implementation in einem Datennetzwerk voraus. Weiterhin müssen unter verschiedenen Geräten Steuersignale ausgetauscht werden. Beispielsweise Rotlichtanzeigen oder Havarieumschalter. Ein Standardabhängiger Austausch wie RS 422 oder ähnlichem kann nicht realisiert werden. Aus diesem Grund verwendet man einfache GPIO Kontakte. Diese Kontakte werden über einen Rangierverteiler verknüpft oder besser ausgedrückt rangiert. Heutzutage hat man einen Papier- und Bandlosen Arbeitsablauf. Somit findet ein Dateiaustausch voll Netzwerkfähig statt. Dieser Arbeitsablauf erfordert aber auch eine Bereitstellung von PCs an allen Arbeitsplätzen. Um die PCs aber in Klimatisierte und Geräusch unempfindliche Umgebungen zu bringen werden diese über eine KVM, Keyboard-Video-Mouse, Installation abgesetzt. Die Computer werden im Geräteraum untergebracht und über eine Hardwareinstallation am Arbeitsplatz bereitgestellt.

Heutzutage werden Videoinstallation vorwiegend über Koaxialleitungen in 3G-SDI nach SMPTE 424M ausgeführt. Dabei gilt darauf zu achten, dass die eingesetzten Geräten diesen Standard auch unterstützen. Die Videokabel haben dabei einen grünen Mantel, daher auch die geläufige Bezeichnung „Grünes Videokabel“. Oftmals werden für Audiokabel ein lila Mantel verwendet. Eine Norm dafür gibt es allerdings nicht. Diese farbliche Trennung hilft aber dabei, die Leitungen schon augenscheinlich zu trennen. Die Signale sind in den Systemen klar differenziert. Man kann, wie bereits erwähnt, Audio in Videosignal einbetten. Die Systeme sind und bleiben neben den Schnittstellen getrennte Systeme und funktionieren weitestgehend autark. Zusätzlich müssen alle Geräte der Installation mit einem Synchronsignal versorgt werden. Dieser sogenannten Sync sorgt durch einen Flankenimpuls dafür, dass das Audio und Videomaterial Frame genau geschnitten und überlagert werden kann. Durch zusätzliche Geräte können damit auch Latenzen in Signalen gemessen und ausgeglichen werden.

Im Videobereich ist eine große digitale Videokreuzschiene, DVK, als Verteilstation aller eingehenden und abgehenden Videosignale das Herzstück des Systems⁵⁵. Ein Ausfall dieser Kreuzschiene ist in aller Regel sehr unwahrscheinlich, da sie aus vielen kleinen Baueinheiten besteht, die teilweise auch redundant vorhanden sind, dennoch kann solch eine Havariesituation vorkommen. Die Installation einer zweiten Kreuzschiene als komplette redundante Anlage kann zwar in Betracht gezogen werden, allerdings sind die Kosten dafür so enorm, dass es im europäischen Raum nicht angewendet wird. Um dennoch bei einem Ausfall sendefähig zu bleiben, wird eine kleine Havariekreuzschiene installiert. Ebenso können wichtige Leitungen über Verteiler direkt an einen Havarie-sendeausgang angelegt werden. Videokreuzschienen sind im Vergleich zum System, enorm teuer. Um die Anzahl an Ein- und Ausgänge gering zu halten verwendet man Verteiler um Videosignale zu splitten. Im Verhältnis zu den Kosten bei einer Videokreuzschiene sind die Verteiler vernachlässigbar gering, obwohl diese in großen Dimensionen auch preislich ins Gewicht fallen. Neben dem Aspekt des Preises ist es aber auch eine Platzfrage. Oftmals müssen ganze Gestelle nur für die Verteilung von Videosignalen genutzt werden. Über die Koaxialleitungen für die Videogeräte kann lediglich nur ein einziges Signal übertragen werden. Ebenfalls kann nur Simplex übertragen werden. Beispielsweise soll in einem Logoinserter ein Logo in einem Videosignal eingefügt werden, so muss ein Ausgang aus der Kreuzschiene mit dem Eingang des Inserters verbunden und der Ausgang des Inserters mit einem Eingang der DVK verkabelt werden. Umso größer das System wird, umso komplexer und aufwendiger wird die

⁵⁵ Vgl. Peter Schut; Video über Ethernet in Broadcast Anwendungen, Seite 12, 7.11.2013; http://fkt.schiele-schoen.de/fileadmin/user_upload/uploads/FKT/nc_05_Axon_AVB.pdf

Verkabelungsstruktur. Eine Flexibilität ist dann nur noch schwer gegeben. Ebenfalls müssen neue Signale auf der Kreuzschiene in dem Steuerungssystem nachgepflegt werden.

Durch diese Struktur mit der DVK als Herzstück ergibt sich eine vergleichbare Sterntopologie. Sollen also in einer abgelegenen Räumlichkeit des Gebäudes Signale benötigt oder gesendet werden, so müssen immer zwei Leitungen zu der Kreuzschiene verlegt werden. Um Temporäre Leitungen verwenden zu können und nicht immer direkt an die Kreuzschiene gehen zu müssen, werden Videosteckfelder, auch Bildwähler genannt, verwendet. Dabei werden eine gewisse Anzahl an Ein- und Ausgängen von der Videokreuzschiene auf ein Steckfeld gelegt. An weiteren Steckfeldern liegen Anschlüsse zu Anschlusskästen und anderen gewünschten Räumlichkeiten an. Wenn diese benötigt werden, kann sich diese über kurze Patchkabel auf die DVK patchen. Die Übertragung über Koaxialkabel und die Verwendung von Bajonett BNC Steckern ist eine sichere und günstige Übertragungsmöglichkeit. Das Leitungskabel ist sehr robust und leicht zu reparieren. Die Stecker können einfach mit einer Zange auf das Kabel aufgecrimped werden. Eine Signalübertragung von SDI über Koaxial ist allerdings nur bis ca. 100m Gewährleistet. Sollten längere Strecken benötigt werden, kann man Lichtwellenleiter zur Übertragung einsetzen. Diese sind allerdings mechanisch weit aus weniger belastbar und sehr Dreck und Staub empfindlich. Bei der Verwendung sollte man stets sorgfältig und achtsam arbeiten, da bereits geringe Mengen Staub oder sogar fett eine Übertragung behindern. Bei einem Bruch oder Riss der Fasern, können diese nur gespleist werden. Diese Reparatur ist aufwendig und teuer, da sie nur von einem Fachmann durchgeführt werden kann.

Bei einer Übertragung von Signalen über Glasfaser können auch mehrere Signale gebündelt übertragen werden. Dabei spricht man von dem sogenannten Multiplexverfahren, abgekürzt auch MUX. Dabei werden die Signale auf verschiedene Bandbreiten moduliert und in gewissen Bandbreitenabständen in einer Lichtwelle übertragen. Anschließend kann man die Signale wieder Demultiplexen, also wieder auftrennen und einzeln weiterverwenden. Ebenfalls muss an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass es sogenannte Hybridrouter gibt. Diese beinhalten die Möglichkeiten Audio und Video Signale zu verarbeiten und auch die Signale embedden und deembedden zu können. Diese Router sind teurer als die einfachen Geräte, sparen aber letztlich Platz und die Anschaffung einzelner Geräte als Embedder und Deembedder. Diese Anwendung ist aber nicht für die Kombination aller Herstellerkombinationen geeignet.

Heutige Installationen in Koaxial funktionieren sehr gut und sind stabil. Die Signale können aufgrund der Laufrichtungen nachvollzogen und an jedem Punkt geprüft sowie

gemessen werden. Für die Anforderungen nach aktuellen Normen reicht ein Betrieb in 3G zunächst vollkommen aus. Allerdings aufgrund der Entwicklungsgeschwindigkeit der Technik, vor allem in der Heimelektronik kann man einen Trend in Richtung 4K oder sogar 8K erkennen. Für solche Qualitätsansprüche sind diese Installationen nicht mehr geeignet. Ebenfalls wird die Weiterentwicklung der Society of Motion Pictures and Television Engineers des SDI in Richtung von 6G, 12G und 24G Bandbreiten über Koaxial und Glas nicht verhindern können, dass viele Hersteller nach anderen Alternativen suchen. Aufgrund der Ausnutzung der Bandbreitenkapazitäten und der immer komplexer werdenden Struktur können dem Koaxialkabel schwierige Zeiten bevorstehen. Der hohe Verkabelungsaufwand und die schwierige Integration in bestehende Systeme wirkt oft nicht mehr Zeitgemäß. Seit vielen Jahren verwendet man vorwiegend Netzwerkbasierende Produktionsumgebungen im Audibereich. Durch die Möglichkeiten der höheren Bandbreitennutzung soll das nun auch in Zukunft für den Videobereich möglich sein.

3.2 Was ändert sich?

Die Umstellung von SD auf HD bzw. FullHD wurde von vielen sehr positiv aufgenommen und ist heutzutage kaum noch weg zu denken. Obwohl die meisten Haushalte nicht alle Sender in der höheren Auflösung empfangen, zurückzuführen auf den kostenpflichtigen Empfang der Privaten HD Sender, nimmt die Zahl der HD Haushalte stetig zu. Aktuell ist das Interesse an 4K und mehr verschwindend gering, aufgrund der wenigen 4K Inhalte die zur Verfügung stehen.⁵⁶ Daraus kann man zunächst Schlussfolgern, bietet man ein größeres Portfolio an 4K Produkten an, steigt auch das Interesse an dem neuen Format. Ohne aber eine entsprechende Struktur zur Produktion solcher Inhalte, können solche Produkte dem Endverbraucher nicht zur Verfügung gestellt werden, die Nachfrage bleibt somit gering. Zur Zeit gibt es immer noch Regieeinrichtungen, die keine HD Inhalte produzieren können, folglich wird eine komplette 4K Umrüstung noch viele Jahre dauern, da die Intervalle für die Installationen von Regien bei circa 10 Jahren liegen. Anders betrachtet muss eine Produktion in 4K nicht immer einen größeren Mehrwert bieten. Ein Nachrichtenformat in 4K bietet dem Zuschauer keinen größeren Informationsgehalt als in FullHD. Eine Skalierung auf 4K wäre hier beispielsweise alternativ zur reinen 4K Produktion denkbar.

Ausgehend von dem aktuellen Entwicklungsstandard, dass die Bandbreiten momentan keine weiteren Entwicklungsmöglichkeiten bieten und die Struktur über Koaxialleitun-

⁵⁶ Thomas Heuzeroth, Deutsche nicht scharf auf superscharfes Fernsehen, 12.02.2015; <http://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article137460997/Deutsche-nicht-scharf-auf-superscharfes-Fernsehen.html>

gen und über Kreuzschienen unflexibel und kompliziert ist, kann ein Einsatz von Netzwerkbasierenden Produktionsumgebungen dennoch Vorteile bringen. Dabei ist es vollkommen unabhängig vom gewählten Produktionsformat. Verwendet man zukünftig für die Installationen in Rundfunkhäusern Ethernetbasierte Produktionsumgebungen kann man dabei auf die neuen Technologien AVB oder SDI over IP nach SMPTE 2022 zurückgreifen. "SDI will be able to handle UHD. However, SDI remains a one way, single-purpose, and point-to-point connection. 4K will provide a natural point for broadcasters to transition to a more flexible interface," das sagt Paul Shen treffend über die Zukunft des SDI.⁵⁷

Bei höheren Bandbreiten wird die Kabellänge des SDI über BNC die Systeme weiter einschränken. Durch den Alternativen Einsatz von professionellen IT Geräten in Broadcastumgebungen kann man höhere Ausfallsicherheiten bei geringem Kostenaufwand erreichen. Die Systeme können dadurch anders strukturiert werden. Nach dem Ansatz von AVB Netzwerken, kann auf digitale Videokreuzschienen gänzlich verzichtet werden. In Umgebungen basierend auf SMPTE 2022 sind diese immer noch vorhanden werden aber wie ein IT Switch in das System integriert. Den neuesten Veröffentlichung von Grass Valley (siehe Abbildung 4) und Evertz zufolge, sind deren Systeme an aktuelle Installationen angelehnt. Allerdings verwendet man als Schnittstellen RJ45 Stecker und CAT 6 Leitungen anstelle der Koaxialkabel. Als Bandbreite stehen 10 GBit/s zur Verfügung.

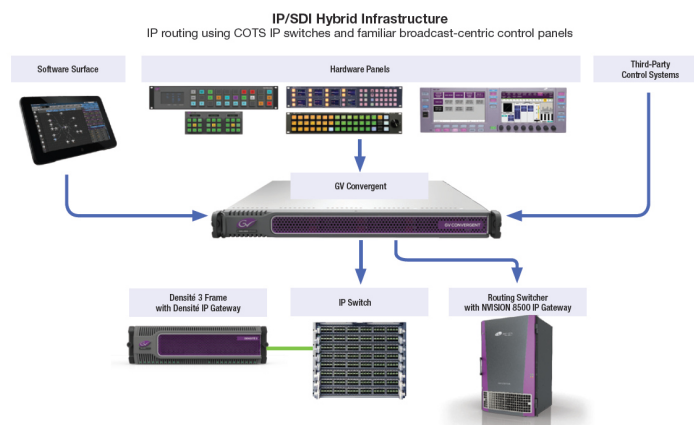


Abbildung 4: Schema einer SMPTE 2022 Installation mit Grass Valley Produkten

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt die Firma Evertz.⁵⁸ Auch hier werden die Signale weiterhin über eine Kreuzschiene geroutet. Allerdings können die verwendeten Leitungen

⁵⁷ Paul Shen; SDI vs. IP: The fight is on, 2014; <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/>

⁵⁸ Vgl. Unbekannt; Evertz EXE-VSR, 2014; <http://www.evertz.com/products/catalogue/EXE-VSR.pdf>

Bidirektional verwendet werden. Durch den Einsatz eines IP Switch wird weiterhin die Integration von weiteren Geräten enorm vereinfacht. Die Struktur kann permanent und beliebig erweitert werden. Der Vorteil von IP basierten Produktionsumgebungen kann aber nur bei reinen Architekturen versprochen werden. Durch den Einsatz im Mischbetrieb mit SDI-Coax Signalen und SDI-IP sind Latenzen und Wandlungen maßgeblich einflussreich auf die Qualität der Übertragung⁵⁹.

Einen anderen Ansatz für die Verwendung von SDI over IP und SMPTE 2022 sieht Sony. Die Firma Sony sieht als anderen Anwendungsfall für die Übertragung von unkomprimierten Video über SDI die Möglichkeit remote production zu realisieren. Dabei werden die Videosignale von einem Ort über das Internet zu einem Empfänger transportiert und das in Echtzeit. Erstmals stellte Sony diese Entwicklung auf IBC 2013 in Amsterdam vor. In der Abbildung 5 ist eine schaubildhafte Variante dargestellt. In verschiedenen Sportproduktionsstätten werden Kameras installiert. Die Bildsignale werden, dann aber nicht wie üblicherweise zu einem Übertragungswagen geführt und dort als Programmbild verarbeitet und zu einem Sender übertragen, sondern direkt über das Internet als SDI over IP an ein Funkhaus. In der Regiezone des Funkhauses können nun mehrere Sportstätten und Studios verarbeitet werden und anschließend Sendefertig an verschiedene Provider übermittelt werden. Durch diese Möglichkeiten der Produktion, ist ein enormes Einsparpotential möglich. Man benötigt kein großes Personal vor Ort, keine teuren Übertragungsfahrzeuge und keine teure Satellitenübertragungen zum Funkhaus. Um eine sichere Übertragung sicherzustellen sollte lediglich eine feste Übertragung über den Backbone eines Netzanbieters nachgedacht werden. In aller Regel haben aber die Rundfunkanstalten feste Leitungskapazitäten für ihre Übertragungen vereinbart. Alternativ kann zukünftig auch über ein eigenes Leitungsnetz ähnlich dem ARD HybNet nachgedacht werden.

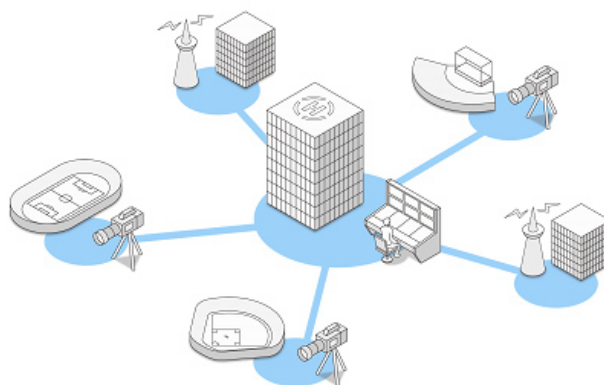


Abbildung 5: Sonys Vorstellung zukünftiger Remote Production

59 Vgl. Chuck Meyer, The Path to IP The right approach for your IP migration, Seite 6;
http://www.grassvalley.com/docs/WhitePapers/broadcast/GVB-1-0484B-EN-WP_Path_to_IP.pdf

Diese Möglichkeiten der Produktionskette erkennt auch Artel und beschreibt diesen Anwendungsfall in ihrem White Paper „Broadcaster Guide to SMPTE 2022“⁶⁰. Einen vergleichbaren Ansatz hat die BBC mit Stagebox vorgestellt. Dabei wird das Gerät Stagebox über den V-Mount an eine Kamera angedockt und wandelt das SDI Signal in ein IP Signal. Dieses wird dann über das Netzwerk im LAN oder WLAN an die Gegenstelle übertragen und wieder als SDI gewandelt. Nach zahlreichen erfolgreichen Testphasen durch die BBC R&D wurde Stagebox als eigenes Produkt dem freien Markt zur Verfügung gestellt.⁶¹

Anders als die Hersteller die SMPTE 2022 unterstützen, kommen die Partner der AVNu Alliance möglicherweise ohne Videokreuzschienen aus. Das kann allerdings zum jetzigen Zeitpunkt nicht mit absoluter Sicherheit garantiert werden, da noch kein Hersteller eine Hardwareseitige Lösung eines Systems vorgestellt hat. Einen möglichen Ansatz solcher Installationen stellt Abbildung 6 dar. Ähnlich wie diese Abbildung stellte die Firma Axon⁶², ein treibender Partner der AVNu Alliance, ein mögliches System eines AVB Broadcast Netzwerks auf.

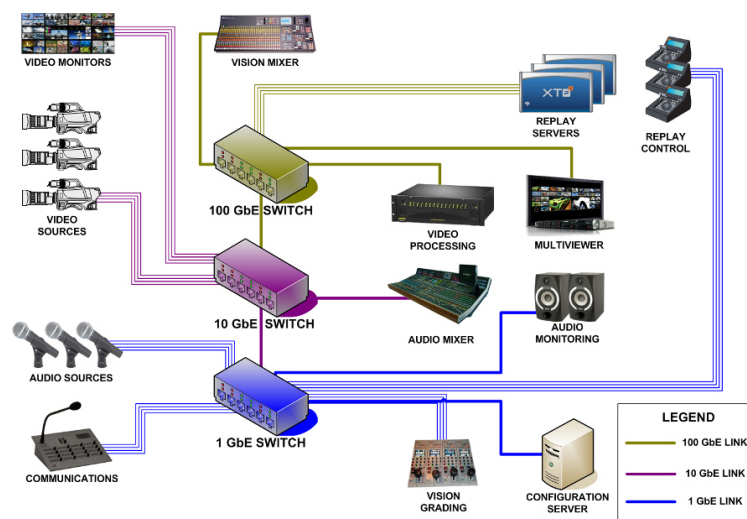


Abbildung 6: AVB Netzwerk in einer Broadcastumgebung

Der Einsatz von leistungsfähiger IT-Netzwerktechnik vereinfacht die Installationen und kann kostengünstige Systeme dem Endkunden zur Verfügung stellen. Aufgrund des großen Marktvolumens der IT-Branche gegenüber der Broadcastindustrie sind Entwick-

⁶⁰ Unbekannt; A Broadcasters Guide to SMPTE 2022, Seite 2; 2014; <http://www.artel.com/docs/default-source/white-papers/broadcasters-guide-to-smp22.pdf?sfvrsn=12>

⁶¹ Unbekannt; How it works, Stand 22.04. 2015; <http://www.stagebox.tv/about/camera/how-it-works/>

⁶² Vgl. Peter Schut; Video über Ethernet in Broadcast Anwendungen, Seite 16, 7.11.2013; http://fkt.schiele-schoen.de/fileadmin/user_upload/uploads/FKT/nc_05_Axon_AVB.pdf

lungen schneller und kostengünstiger im Vergleich. Mehr zu dem Punkt Kosten werden im folgenden Kapitel erläutert.

Durch den Einsatz mehrere Switche und deren Interkonnektivität erreicht man eine höhere Redundanz der Signale. Wie auch in der Abbildung ersichtlich ist, sind im Enterprise IT Sektor andere Bandbreiten bei der Signalübertragung möglich. 100G sind heutzutage unproblematisch. Um aber Kosteneffizient zu arbeiten, sollten die Switche entsprechend ihres Einsatzgebietes ausgewählt werden. Soll der Produktionsbereich später erweitert werden, so kann man einfach einen weiteren Switch installieren und diesen über eine Leitung mit der vorhandenen Infrastruktur erweitern.

Auf der AVB Networking Conference 2012 in Las Vegas⁶³ wurden damalige Entwicklungen dem Fachpublikum präsentiert. Größtenteils waren 2012 nur Audioinstallationen serienreif. Revolutionär war dabei aber der Gedanke Videomitore einer Videomonitorwand im Daisy Chain, also als Kette von Monitoren, mit einander zu verbinden. Das würde bedeuten, dass nur ein Netzkabel zum ersten Monitor verlegt werden muss und daraufhin dieser zum nächsten durchgeschliffen wird. Ebenfalls stellte die Firma Riedel⁶⁴ solch eine Verkabelungsvariante in Aussicht. Aber auch der Ansatz direkt von einem Switch in der Monitorwand das Signal erhalten zu können, verspricht einen wesentlich geringeren Verkabelungsaufwand als er momentan praktiziert wird. Die Kabellängen und Kabelwege können durch den Einsatz von Ethernet basierten Produktionsumgebungen wesentlich reduziert werden.⁶⁵ Im Allgemeinen gelten Netzwerkschalter als enorm Ausfallsicher. Bei AVB Netzwerken müssen diese nicht speziell konfiguriert werden. Das macht einen Austausch eines defekten Gerätes enorm einfach. Über die Bidirektionale Leitung können zeitgleich sämtliche Signale übertragen werden. Die eigentlichen Inhalte Video, Audio oder Steuerung sind bei der Übertragung absolut irrelevant und werden mit gleicher Priorität übertragen. Verwenden Geräte im AVB Netzwerk nicht die definierten AVB Protokolle, werden diese von den speziellen AVB Switches als unwichtig deklariert und nur bei ausreichender Bandbreitenreserve übermittelt. Die dadurch einfachen Infrastrukturen sind flexibel erweiterbar. Da alle Signale in einem Netzwerk übertragen werden, bedarf es keiner separaten Leitungen für Audio und Video mehr. Ein Augenscheinliches Unterscheiden der Leitungen wie früher ist nicht mehr möglich. Denkbar ist weiterhin dass der Einsatz eines aufwendigen und komplexen Rangierverteilers zukünftig nicht mehr notwendig ist. Die Steuersignale könnten anhand von digitalen Steuersignalen im Netzwerk mit übertragen werden. Aufgrund der Entscheidung der Switches über welche Leitung ein Signal übertragen wird, kann dieses nicht mehr überall auf Qualität gemessen werden wie es heutzutage möglich ist.

63 Vgl. Videomitschnitt der Konferenz; <https://www.youtube.com/watch?v=C1LtFsroHjc>

64 Unbekannt; Intercom Goes Real-Time IP, 2013; www.riedel.net/LinkClick.aspx?link=Downloads%2FData_Sheets%2FConnect+AVB+EN.pdf&mid=0&language=zh-CN&forcedownload=true

65 Vgl. Peter Schut; Video über Ethernet in Broadcast Anwendungen, Seite 14ff, 7.11.2013; http://fkt.schiele-schoen.de/fileadmin/user_upload/uploads/FKT/nc_05_Axon_AVB.pdf

Die neue Technik wird also komplett neue Arbeitsweisen des technischen Personals fordern. Das bringt auch die Frage auf, benötigt man zukünftig Fernsehingenieure mit IT Grundlagenwissen oder IT-Spezialisten mit einem Grundwissen an Fernsehtechnik. Als wichtiger Punkt abseits der Technologiefrage kann festgestellt werden, dass die neue Technik weniger Geräte, weniger Platz und weniger Strom benötigt als herkömmliche Systeme. Das schon letztlich auch das Klima.

3.3 Vorteile der neuen Technik

Aufgrund der enormen Nachfrage in der Branche seit vielen Jahren, steigerte sich auch das Forschungsinteresse auf Seiten der Hersteller. Probeabläufe für 4K Produktionen, wie beispielsweise beim Confederations Cup 2013 in Brasilien oder die Liveübertragung eines japanischen Broadcasters in 8K nach Japan, weisen die Verwendung von SDI über Koaxialverbindung immer weiter in Schranken. Aber durch AVB und SMPTE 2022 über Netzwurkkabel können nicht nur die Bandbreiten gesteigert werden auch die Gerätestrukturen können aufgrund der Bidirektionalen Übertragung vereinfacht werden.

An den Geräten werden keine I/O-Ports benötigt oder zusätzliche Audio und Sync Schnittstellen. Sämtliche Signale Audio-Video-Steuerung können über ein Kabel übertragen werden. Dadurch sind Geräteintegrationen in ein System auf ein Minimum reduziert. Auch über verschiedene Kabel und Steckertypen muss nicht mehr geachtet werden. Oftmals gab es Probleme bei einem Geräteaustausch nach einem Defekt, dass Hersteller die Steckerkonfektion geändert haben. Bei AVB oder SMPTE 2022 werden ausschließlich RJ45 Stecker und Acht adrige Netzwurkkabel nach definiertem Cat. Standard verwendet werden. Komplexe Vernetzung wie sie heute nur schwer realisierbar sind, können ohne großen Aufwand erstellt werden. Auch Vernetzungen können nun in anderen Dimensionen erreicht werden.

Ein weiterer Vorteil durch die Reduzierung von Kabelwegen innerhalb eines Funkhauses können anfallende Dienstleistungskosten für die Kabelmontage auf das wesentliche gesenkt werden. Die Effektivität bleibt dabei aber voll erhalten. Durch den möglichen Einsatz in Bereich remote production können komplett flexible Produktionsumgebungen geschaffen werden. Beispielsweise können mehrere Überregionale Studios an mehrere Regiekomplexe angebunden werden und diese vollkommen frei mit einander vernetzt und Produktionsbereit gemacht werden. Dadurch sind bessere Auslastungen der Studioflächen bei einer Minimierung an Regietechnik möglich. Durch die Bandbreitenreservierung bei AVB und den Einsatz eines aufwendigen Fehlerschutzes FEC bei SMPTE 2022 können eine hohe Ausfallsicherheit ähnlich wie herkömmliche SDI-BNC Installationen erreicht werden. Eine hohe Latenzsicherheit kann bei AVB Netzwerke

garantiert werden, bei SMPTE 2022 ist diese auch gesichert allerdings höher, da diese durch den FEC beeinflusst wird. Auch von Vorteil dieser Netzwerkbasierten Systeme ist die universelle Erreichbarkeit aller Signale überall im Netzwerk. Man hat also die Möglichkeit jedes Signal an jeder Stelle des Netzwerkes abzugreifen. Allerdings mit der Einschränkung der Talker und Listener Funktion der AVB Geräte, wie im Kapitel 2.3. AVB bereits erläutert wurde.

Abschließend nochmal alle Vorteile von AVB und SMPTE 2022 auf einem Blick:

- vereinfachte Gerätekonstruktionen
- einheitliche Kabel und Stecker im Systemen
- vereinfachte flexible Integration von Geräte austausch
- neue Vernetzungsdimensionen
- effektiver und günstiger
- flexible Produktionsumgebung – remote production
- Latenzsicherheit und Übertragungssicherheit
- vereinfachte Signalführung, alle Signale überall verfügbar

3.4 Probleme/Nachteile

Selbstverständlich kann man von einer neuen Technologie nicht nur Vorteile erwarten. Auf welche Probleme müssen sich die Anwender einstellen, wenn man zukünftig AVB oder Netzwerke nach SMPTE 2022 einsetzt? Das Hauptproblem ist zunächst die Wahl zwischen AVB und SMPTE 2022.

In aller Regel hat man in früheren Installationen Hardware eines Herstellers eingesetzt und das Personal darauf geschult. Somit setzt man bei einem Neubau auf die gleiche Herstelleroption, damit der alte Arbeitsablauf schnell wieder aufgenommen werden kann. Aktuell gibt es aber keine Hersteller die beide Entwicklungen, AVB und SMPTE 2022, in ihrem Portfolio anbieten. Voraussichtlich wird das auch nicht geschehen, da die Entwicklungskosten ansonsten nicht tragbar wären. Somit muss man die angewendete Technik des Wunschherstellers verwenden und kann nicht zwischen SDI over IP mit SMPTE 2022 oder AVBs SDI over Ethernet entscheiden. Fällt die Entscheidung doch auf eine gewünschte Technik unabhängig vom Hersteller kann man nach den Kriterien der Technikvarianten eine optimale Lösung für sein System finden. Beide Techniken scheinen einen Markt zu finden und sich als Standard zu etablieren. Die Frage

ob beide in Zukunft immer noch existieren und von den Herstellern weiterverfolgt werden ist ungewiss und bleibt ein Investitionsrisiko der Anwender.

Aufgrund der verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten zwischen SMPTE 2022 und AVB ist für viele auch eine Kombination interessant. Wie die Kompatibilität der Systeme untereinander und die Integration aussieht ist aktuell noch fraglich. Bei solchen komplexen Systemen wie sie in modernen Rundfunkanstalten zu finden sind, kann es durchaus noch zu Problemen kommen und Signale beschädigt ankommen. Die Störquelle ausfindig zu machen, wird in den netzwerkbasierenden Umgebungen wesentlich schwieriger, da das Signal nicht mit der Laufrichtung verfolgt werden kann. Die Fehlersuche im System ist weitaus schwieriger als es bisher der Fall ist. Eine mögliche Ursache für Fehler bei der Übertragung kann zukünftig die Bandbreitenkapazität werden. Da mehrere Signale über eine Leitung übertragen werden, und nicht wie bisher ein Signal pro Leitung, können Spitzen bei der Bandbreitenauslastung entstehen und Fehler verursachen. Obwohl dies durch die Bandbreitenreservierung bei AVB und durch den FEC Fehlerschutz in SMPTE 2022 Netzwerken, verhindert werden soll, kann dies nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Ein Problem, das bei ersten Testumgebungen beim IRT aufgetreten ist, war das Reaktivieren des Netzwerkes bei einem Ausfall. Dabei hatte das Netzwerk auf der Netzwerkschicht circa eine Sekunde zur Wiederherstellung gebraucht. Der Audiostream allerdings zwischen 2-30 Sekunden.⁶⁶ Auch wenn der Protokoll austausch definiert ist und der notwendige AVB Chip genormt ist, kann nicht immer sichergestellt werden, dass eine volle Interoperabilität gewährleistet ist. Für solche Analysen fehlen aktuell Geräte um Testumgebungen zu installieren und zu erproben. Dadurch fehlt im allgemeinen die Erfahrung für den Aufbau solcher Netzwerke. Mit der Vorstellung der ersten Produktserien zur NAB 2015 werden vermutlich die ersten Integrationen von Systemen mit SMPTE 2022 erfolgen.

Für AVB sollte man die Möglichkeit nutzen und ein unabhängiges Netzwerk als LAN aufbauen. Dadurch erhält man eine größere Sicherheit als die Integration in ein bestehendes offenes Netzwerk mit einem Zugang zum Internet. Da bei SMPTE 2022 ein Austausch über IP erfolgt ist teilweise auch eine Übertragung über das WAN erwünscht. Um einen Fremdzugriff auf das Sensible Broadcastsystem zu verhindern, sollte das Netzwerk nach einem IT Enterprise Standard ausreichend gesichert werden. Bestenfalls sollte dafür ein VLAN, virtuelles Local Area Network auf Layer 3 Ebene, verwendet werden. Dieses kann speziell gesichert werden und ermöglicht eine Abgrenzung zu anderen Netzwerken auf dem Switch. Sinnvoller Weise sollte eine Umrüstung

⁶⁶ Markus Berg, Sonja Langhans, Franz Baumann, Andreas Metz; Neue Netzinfrastrukturen für Studio und Produktion, Seite 37, 14.07.2014; https://www.irt.de/no_cache/de/aktuell/news/view/article/kolloquiumsvortrag-zum-thema-neue-netzinfrastrukturen-fuer-studio-und-produktion.html

auf AVB oder SMPTE 2022 komplett erfolgen. Ein Hybridbetrieb mit SDI over BNC ist zwar möglich, allerdings ist die Wandlung der Signale aufwendig und teuer. Ebenfalls können dadurch größere Latenzen und Störquellen resultieren.

Nachfolgend werden alle Nachteile noch einmal Stichpunktartig aufgeführt:

- Wahl zwischen Technologie oder Hersteller
- aktuell mit AVB und SMPTE 2022 zwei Standards auf dem Markt
- Zukunft beider Vertreter ungewiss
- eingeschränkte Kompatibilität zwischen AVB und SMPTE 2022 möglich
- Fehlersuche im System wesentlich schwerer als bisher
- Bandbreitenauslastung und Fehler dadurch nicht vorhersehbar
- Netzwerk benötigt Zeit zur Wiederherstellung nach Ausfall
- Interoperabilität zwischen Geräten verschiedener Hersteller nicht gewährleistet
- aktuell wenig Erfahrung bei Aufbau solcher Systeme
- bei unzureichendem Schutz ist Fremdzugriff auf das Netzwerk möglich
- Hybridbetrieb teuer, empfohlene Komplettinstallation

4 Neue Technik in der Praxis

Es hat mehr als zehn Jahre gedauert bis Hersteller Serienprodukte mit unkomprimierten Videonetzwerk dem Endkunden zum Verkauf anbieten konnten. Durch diese neuen Lösungen wurden aber auch vollkommen neue Produktionsmethoden zur Verfügung gestellt. Mit der Möglichkeit solche Geräte am freien Markt zu erhalten, muss man den nächsten Schritt unternehmen und anfangen die Produkte einzusetzen. Aber welche Einsatzbereiche für die Praxis gibt es überhaupt? Gibt es erfolgreiche bestehende Beispiele für die neuen Entwicklungen am Broadcastmarkt? In den folgenden Abschnitten sollen Beispiele für die Integration aufgezeigt werden. Als letzter Punkt dieser Untersuchungen sollen noch die Kosten zu den vorangestellten Möglichkeiten gegenübergestellt werden. Im Vergleich werden die Kosten einer herkömmlichen Systeminstallation mit einem Broadcastnetzwerk nach AVB/SMPTE 2022 gegenübergestellt. Gibt es Einsparpotential oder überwiegen noch die Entwicklungskosten und schrecken die Käufer vor einer Integration ab.

4.1 Möglichkeiten für die Zukunft

Netzwerkbasierte Produktionsumgebungen sind für viele Broadcaster schon seit langem eine Wunschvorstellung die durch AVB und SMPTE 2022 nun endlich in greifbare Nähe gerückt ist. Warum der Wunsch nach solchen Entwicklungen besteht, ist bereits im Vorfeld eingängig erklärt und dargestellt wurden. Aus diesem Grund war es auch nicht verwunderlich, dass bereits einige Projekte in den USA im Audibereich direkt nach ersten Produktvorstellungen realisiert wurden.

Bereits 2012 auf der AVB Networking Conference stellte Matt Czyzewski, Executive Vice President of Operations, Biamp Systems Installationen am Medical College of Wisconsin, dem Lockheed Martin Corporate Training Center, Cox Conference Center Atlanta oder dem Hong Kong Convention Center vor.⁶⁷ Ein weiteres Beispiel von Matt Czyzewski ist eine Installation im Military Command and Control Center der US Army. Der Einsatz von AVB im Militärbereich zeigt die hohe Zuverlässigkeit des Systems, denn ein Ausfall oder Funktionsstörung an solchen Stellen hat schwerwiegende Folgen. Weitere Installationen von AVB Audio Netzwerken stellt Sam Berkow, Gründer

⁶⁷ Vgl. Videomitschnitt der Konferenz; https://www.youtube.com/watch?v=_csP98NWWIo&list=PLFFBF6CE9B60A1675&index=5

und Geschäftsführer von SIA Acoustics, auf der AVB Conference 2012 in Las Vegas vor. Darunter sind The Pearl, eine Bühne für Livemusik in einem Casino in Las Vegas mit einer Kapazität für 2600 Personen sowie einem Aufnahmestudio. Von einer anderen Art ist das Beispiel von eTown Hall. Diese Firma in Colorado hat ein AVB Netzwerk für kleine Livesituation mit 200 Gästen, einem Aufnahmestudio, vier Audiopostproduktionsräumen und eine Internetplayout installieren lassen.⁶⁸ Es gibt aber auch zahlreiche Sportarenen wo die Signalübertragung des Stadionsprechers über AVB Netzwerke realisiert wird. Erste praktische Anwendungen für Videoechtzeit Übertragungen im Netzwerk stellte Sony auf der IBC 2014 vor, als zwei Kamerasignale aus Belgien auf den Sony IBC-Stand in Amsterdam übertragen wurde. Ein Schalten zwischen beiden Quellen war bereits störfrei möglich. BBCs Stagebox konnte ebenfalls bei zahlreichen Möglichkeiten erfolgreich eingesetzt werden⁶⁹.

Neben dieser kleineren Beispiele oder reinen Audio Anwendungen wird zukünftig auch Video oder komplette Netzstrukturen möglich sein. Während die Vorteile von AVB bei Installationen innerhalb eines Gebäudes oder auch Campuses liegen, so können mit SMPTE 222 mehrere Produktionsstätten miteinander vernetzt werden. Auch Artel Video Systems und ihr President Richard Dellacanonica sieht eine vernetzte Zukunft mit SMPTE 222. „Cable operators can dramatically reduce their operational expenses by relying on a single platform that merges video and Ethernet capabilities.“⁷⁰

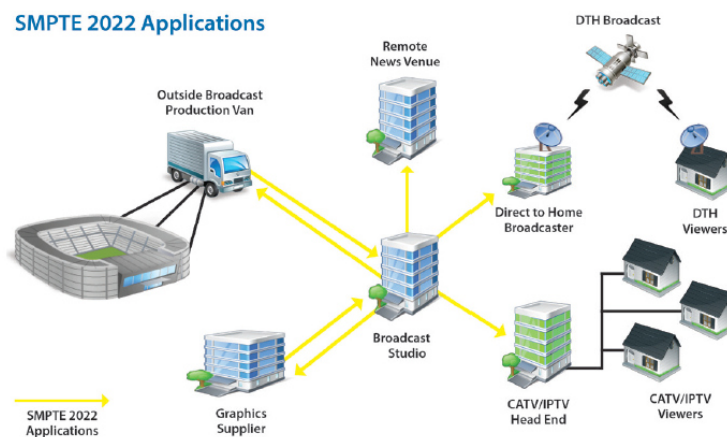


Abbildung 7: Anwendungsmöglichkeiten mit SMPTE 222 nach Artel Videosystems

68 Vgl. Videomitschnitt der Konferenz; https://www.youtube.com/watch?v=-_OmbMRcYXE&index=6&list=PLFFBF6CE9B60A1675

69 Unbekannt; 01.09.2013; <http://www.stagebox.tv/the-revolution-will-be-televised/>

70 Richard Dellacanonica; Hybrid Video Transport and Ethernet Switching Platforms, August.2013; http://www.artel.com/docs/default-source/whitepapers-and-articles/11350_industry_artel_v3press.pdf?sfvrsn=2

Wie man in Abbildung 7 erkennen kann, so ist das Entwicklungsinteresse bei SMPTE 2022 klar auf die Vernetzung von Produktionsstätten und die Distribution an die Verbraucher fokussiert. Die grünen Gebäude in der Grafik stellen die Verteilstationen zum Verbraucher dar. Diese könnten ebenfalls über das Netzwerk die Inhalte der Broadcaster erhalten⁷¹. Ein großer aufwendiger Produktionsbereich sind mobile Sportproduktionen wie zum Beispiel die Übertragung von Fußball am Wochenende. Bei diesen Produktionen ist notwendig, die komplette Technik vor der Übertragung aufzubauen, zu testen und nach der Produktion wieder zurück zu bauen. Durch den Einsatz von AVB oder auch SMPTE 2022 können die Netzwerkleitungen zu den Standorten für die Kameras bereits bauseitig verlegt werden und permanent zu jeder Produktion genutzt werden. Die anfallenden Kosten für die Stadionbetreiber sind verschwinden gering, gegenüber Installationen mit Glasfaser- oder Triaxanbindungen für die Kameras. In den Stadien kann dann an einem zentralen Übergabepunkt das Übertragungsfahrzeug angeschlossen werden und die Kameras aufgebaut werden. Das minimiert Kosten für den Aufbau und an Personal für das temporäre Verlegen der Leitungen. Aber wie bereits an anderer Stelle erwähnt kann zukünftig auch ganz auf Übertragungsfahrzeuge verzichtet werden, wenn Sportstätten direkt mit Regiekomplexen verbunden werden.

Viele Sender der ARD Gruppe haben kleinere Regionalstudios auf die prinzipiell nicht verzichtet werden kann. In diesen kleineren Studios werden Nachrichtenformate oder Magazinsendungen produziert. Durch diese kurzen Sendungen ist die Auslastung der Studios sehr gering. Zu jeder Studiofläche gehört in aller Regel auch eine eigene Regiezone. Die Regiezone kann aber nur mit den angebunden Studioflächen genutzt werden. Daraus resultiert ebenfalls eine geringe Auslastung der teuren Regietechnik. Das MDR Funkhaus in Leipzig konnte dieses Problem im Ansatz sehr gut lösen. Hier ist es möglich alle Regiezone im Gebäude mit allen Studioflächen zu verbinden. Allerdings sind die Studios so großzügig gebaut, dass ein schneller und effektiver Kulissenwechsel möglich ist. Dadurch kann eine höhere Auslastung der Studios und Regien erzielt werden. Als Kontra steht hier der tägliche Auf- und Abbau aller Kulissen Teile der Auslastung gegenüber. Mit Video over IP und Video over Ethernet kann man dieses Problem direkt im Ansatz lösen. Die Regiezone können unabhängig alle oder zumindest viele Studioflächen verwenden. Dadurch benötigt man weniger Regieeinrichtungen und kann höhere Auslastungen erzielen. Das bringt aber eine weitere Herausforderung mit sich. Dadurch muss Personal und Räumlichkeiten wesentlich aufwendiger und genauer disponiert werden und man zentralisiert gewissermaßen die Örtlich-

71 Vgl. Unbekannt; A Broadcasters Guide to SMPTE 2022, Seite 2; 2014; <http://www.artel.com/docs/default-source/white-papers/broadcasters-guide-to-smp-2022.pdf?sfvrsn=12>

keit und das Personal an einem Standort. Ebenso kann die räumliche Distanz zwischen Regie- und Studiopersonal die Produktion erschweren.

Als aber wichtigster Punkt für den Einsatz von AVB und SMPTE 2022 in Zukunft spricht die Möglichkeit höhere Auflösungen und Bildwiederholfrequenzen zu produzieren. Die aktuelle Beschränkung von Bandbreiten von drei Gigabit pro Sekunde, oder sogar sechs bzw. zwölf Gigabit pro Sekunde sind mit den netzwerkbasierenden Lösungen keine Probleme mehr. 10G, 40G und 100G sind aktuelle Möglichkeiten der IT Technik. Auch mehrere Signale gebündelt und bidirektional übertragen zu können steht gegenüber einer remote production noch weiter im Interesse der Branche. Vor allem für Systemintegratoren vereinfacht sich dadurch die Arbeitsweise. Dem Nutzer wird höchstwahrscheinlich kein Unterschied in der Anwendung auffallen, da jetzt gleiche Ergebnisse, allerdings nur mit sehr aufwendigen Mitteln, erreicht werden.

4.2 Kosten vs. Nutzen

Sollte man mit AVB oder auch SMPTE 2022 in Zukunft nur noch standardisierte Netzkabel verlegen und als Schnittstelle RJ45 verwenden, wird eine Integration auch ein Aufbau von Broadcastsystem wesentlich einfacher. Im Rahmen der Forschung zu dieser Bachelorarbeit wurde sich mit realen Lösungen zu Bandbreiten in Netzwerken beschäftigt. Das Ergebnis, dass bereits 2007 erste Erfolge mit der Übertragung von Signalen mit 100 Gigabit über Ethernet, 100GbE, über Kupferkabel möglich sind, bedarf an dieser Stelle eine weitaus genaueren Untersuchung⁷². Der aktuelle Forschungsstand zu diesem Thema muss genauer untersucht werden.⁷³ Das würde aber den Rahmen dieser Thesis sprengen. Für den Bereich AVB und SMPTE 2022 ist hinreichend davon auszugehen, dass es über Kategorie 6 Leitungen; CAT. 6, möglich ist, 100GbE Bandbreiten zu nutzen. Allerdings wurde bei der Recherche nach IT Hardware festgestellt, dass in der IT Branche für Bandbreiten über 10 Gigabit Glasfaserleitungen verwendet werden. Die Kosten für die SFP Module sind bei im Punkt Verkabelung enthalten.

Im Anhang dieser Bachelorarbeit befinden sich Blockschaltbilder zur beispielhaften Darstellung eines Videosystems in einem Funkhaus.

72 Sven Olaf Suhl; 100Gbit/s durch Kupfer gequetscht, 21.11.2007; <http://heise.de/-198043>

73 Vgl. Unbekannt; IEEE P802.3ba 40Gb/s and 100Gb/s Ethernet Task Force; <http://www.ieee802.org/3/ba/>

Das Blockschaltbild für herkömmliche SDI-BNC Verkabelungen, Anlage 1, beinhaltet lediglich die BNC Videoleitungen als Verkabelungsplan. Dieses kleine System beinhaltet fünf Kameras, 3 Videoserver mit Anbindung zur Nutzung als Playoutserver und Ingestfunktion. Weiterhin sind drei Grafikrechner an das System angebunden. Zur Integration der Videoserver und Grafikeinheiten sind De-/embedder und Videosignalverteiler eingesetzt. Zusätzlich ist im Blockschaltbild eine Bildmischereinheit, ein Bildwähler mit lediglich Ein- und Ausgängen von der Videokreuzschiene, eine Monitorwand und Sendeausgang dargestellt. Dieses Blockschaltbild ist lediglich als erste Visualisierung eines komplexen Systems zu verstehen. In Realität sind solche Schaltungen noch aufwendiger und komplexer. Weiter Peripherie ist im System integriert und es gibt mehr Schnittstellen zu den anderen Bereichen, wie Audio, Steuerung und Netzwerk. Ebenfalls wurde Audio bis auf die Embedder vernachlässigt. Die Integration von Multiviewern wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Multiviewer sind heute eigentlich ein integraler Bestandteil eines Videosystems, allerdings für die Kostenaufstellung uninteressant.

Das Blockschaltbild für eine Realisierung nach AVB und SMPTE 2022 liegt ebenso als Anlage 2 dieser Thesis bei. Um einen direkten Vergleich zu ermöglichen sind exakt wie in Anlage 1 nur Videosignale gezeichnet. Der Leistungsumfang beider Blockschaltbilder sind nach Theorie dieser wissenschaftlichen Arbeit zunächst als identisch anzusehen. Auf dem ersten Blick im Vergleich kann man feststellen, dass ein wesentlich geringerer Verkabelungsaufwand allein im Videobereich notwendig ist. Synchronisationssignale sind bei AVB bereits enthalten. Alle dort enthaltenen Geräte können sämtliche Signaltypen über den RJ45 Anschluss erhalten. Als Ausgangspunkt für das AVB System nahm der Autor eine Übertragung von Progressiven FullHD Material, also 1080p nach dem SMPTE 3G Standard 424M. Bei der Anwendung von anderen Formaten muss die Struktur entsprechend angepasst werden. Für eine Systemverkabelung nach SMPTE 2022 kann diese mit der Variante nach AVB verglichen werden. Dabei muss allerdings eine Videokreuzschiene ähnlich wie der Bildmischer an einen Netzwerkwitzch angebunden werden. Vergleichen wir aber nachfolgend die Kosten solcher Installationen.

In Nachfolgender Tabelle 3 sind die Kosten einer konventionellen SDI über BNC Integration aufgestellt. Angelehnt ist die Kostenübersicht an das Blockschaltbild der Anlage zu dieser wissenschaftlichen Arbeit. Verglichen wird die Arbeit anhand der Punkte Ports Videokreuzschiene/Switche, Verteilverstärker, De-/Embedder sowie Verkabelungsaufwand.

Gerät	Einzelpreis 2015 in €	Menge	Gesamtpreis in €
Videokreuzschiene⁷⁴ 144x144	381,66,-	144	54 960,-
Verteilverstärker⁷⁵	1400,-	12	16 800,-
Embedder⁷⁶	1 600,-	13	12 800,-
Verkabelung incl. Sync	21,05	380	8 000,-
Gesamt			92 560,-

Tabelle 3: Kostenaufstellung einer herkömmlichen Installation

Für das Videosystem im Dargestellten Blockschaltbild einer konventionellen SDI Verkabelung benötigt man circa 92 560,- € . Dabei unberücksichtigt sind die Positionen Monitore, Kameras und Videosever, da diese keinen Unterschied zwischen den Systemen darstellen.

Die Entscheidung lediglich 40GbE Ports zu verwenden, war eine Preisentscheidung. Für die Übertragung von 3G Signalen ist eine 40GbE Struktur vollkommen ausreichend. Aktuell sind die Ports mit 100 Gigabit Bandbreiten um ein vielfaches teurer und zu meist auch mit Glasfaserleitungen verbunden. Aufgrund der vielen Neuentwicklungen sind die AVB bzw. SMPTE 2022 Geräte vermutlich noch um einiges teurer als herkömmliche Geräte, da die Entwicklungskosten auf dem Preis abgeschrieben werden. Ebenfalls sind die Auswahlmöglichkeiten an Geräten momentan noch stark begrenzt.

Tabelle 4 weist einen deutlich geringen Betrag für den Aufbau eines mit AVB Komponenten auf. Im Vergleich zu 92 560 € für eine herkömmliche Installation, kostet die Variante für AVB mit 46 274,15 € circa die Hälfte. Das Kostenbeispiel zeigt einen deutlichen Vorteil auf Seiten der neuen Technologie. Durch AVB und SMPTE 2022 hat man nicht nur technische Vorteile auch die Installation ist günstiger als herkömmliche Systeme. Aktuell sind die Ports von herkömmliche Kreuzschienen wesentlich günstiger als Ports von Netzwerkschichten, aber durch die Reduktion an Ports und auch das Übertragen von mehreren Signalen über eine Leitung ist die Anschaffung eines Netzwerkschichtes günstiger.

⁷⁴ Unbekannt; MCI Webshop, 30.04.2015; <http://www.mci-shop.de/de/NK-3G144.html>

⁷⁵ Unbekannt; Hartmann Media Lynx Preisliste; http://hartmann-media-ii.com/uploads/5000_series_3-14.pdf

⁷⁶ Ebd.

Gerät	Einzelpreis 2015 in €	Menge	Gesamtpreis in €
Switchport 10GbE ⁷⁷	262,50	36	9 450,-
Switchport 40GbE ⁷⁸	1300,-	20	26 000,-
Switchport 100GbE ⁷⁹	5 000,-	0	0
Verteilverstärker	0	0	0
Embedder	2 000,-	5	10 000,-
⁸⁰ Verkabelung incl. Sync	15,55	53	824,15
Gesamt			46 274,15

Tabelle 4: Kostenzusammenstellung bei AVB

77 Unbekannt; Jacob Computer Web Shop; 30.04.2015; <http://shop.jacob-computer.de/netgear-prosafe-m7100-24x-xsm7224-100nes-artnr-1441876.html?gclid=CLT0hJKcm8UCFQklwwodnJMAww>

78 Lynn Haber; 40 Gigabit Ethernet in data center networks: Migration best practices; Oktober.2011; <http://searchnetworking.techtarget.com/feature/40-Gigabit-Ethernet-in-data-center-networks-Migration-best-practices>

79 Antone Gonsalves; Dell plans to sell a 100 GbE fabric switch at half the price of competing products to try to 'disrupt' the market through a low switch price., 22.April.2015; <http://searchnetworking.techtarget.com/news/4500244844/Dell-plans-to-cut-typical-100-GbE-switch-price-in-half>

80 Unbekannt; IT Budget Webshop; 30.04.2015; <http://www.it-budget.de/5571/installations-/verlegekabel-cat.7-s/ftp-1000-mhz-orange-500-m?c=125>

5 Fazit

Die Übertragung von unkomprimierten Echtzeit-Videosignalen über Netzwerkbasierende Broadcastumgebungen wurde durch die Standardisierung der Society of Motion Pictures and Television Engineers mit der Standardfamilie 2022 und durch die AVNu Alliance mit ihrer Arbeit an AVB zu einer alternativen Möglichkeit gegenüber konventionellen Infrastrukturen in Rundfunkhäusern.

In den letzten Jahren konnten die Forschungsgruppen praxistaugliche Ergebnisse präsentieren und dafür sorgen, dass Hersteller zu Beginn 2015 bereits die ersten Produkte nach SMPTE 2022 und teilweise auch AVB taugliche Hardware dem Markt präsentieren. Im Bereich der Video-Broadcastindustrie setzen die marktführenden Unternehmen wie Grass Valley, Sony und Evertz auf SMPTE 2022. Mit deren Produktvorstellungen zur NAB 2015 in Las Vegas gibt es für Systemintegratoren und Rundfunkanstalten einsetzbare Hardware. Die AVnuAlliance kann durch die zögerliche Veröffentlichung von Videogeräten leider keine Konkurrenz zu SMPTE 2022 darstellen.

Im Kapitel 3 dieser Thesis wurde festgestellt, dass durch die Anwendung einer Netzwerkbasierenden Produktionsumgebung der Aufbau und die Integration solcher komplexen Produktionssysteme im wesentlichen Vereinfacht wird. Es kann ein gleiches Leistungsportfolio erreicht werden wie in herkömmlichen Systemen. Durch die Anwendung von bestehenden und weiterentwickelten Netzwerkprotokollen nach IEEE Standard kann für eine Ausfallsichere und qualitativ Hochwertige Echtzeitübertragung von Videosignalen erreicht werden. Die Aussicht auf größere Bandbreitennutzung als BNC basierte Übertragungsmöglichkeiten lassen 4K Fernsehformate oder Sportproduktionen in greifbare Nähe rücken. Integrationsmöglichkeiten für remotefähige Außenproduktionen sind ebenfalls in der Produktpalette einiger Hersteller zu finden. Durch die Anwendung herkömmlicher IT Hardware können neue Systeme mit AVB oder auch nach ST 2022 kostengünstiger und effektiver aufgebaut werden. Durch Minimierung der Verkabelung und die Reduktion von notwendigen Komponenten wie Videoverteilverstärker, Wandler und ähnlichem scheinen die neuen Technologien auch preislich eine Konkurrenz des BNC-Kabels zu werden.

Es gibt aber nicht nur Vorteile durch den Einsatz der neuen Technologie. Für die Erweiterung der Produktionsumgebung auf 4K Formate, reicht nicht nur eine Erneuerung der Regiezoneninfrastruktur. Auch das komplette Arbeitsumfeld muss daraufhin angepasst werden. Sämtliche Postproduktionsräume, Abnahmeräume, Grafiksysteme müssen auf 4K Produktionen umgerüstet werden. Alle Kameras sollten bestenfalls 4K taug-

lich sein. Auch bestehende Kulissen und Räumlichkeiten müssen dem neuen Format entsprechend angepasst werden. Das Servicepersonal, welches sich um die Wartung und Havariefälle kümmert, muss sich neuen Herausforderungen stellen. Zunächst sind Fehler im System nicht so leicht nachvollziehbar und auch reproduzierbar wie aktuelle Infrastrukturen mit Signallaufleitungen.

Aus den Erfahrungen von Systemintegratoren bei der Umrüstung von SD auf HD, ist zu erwarten dass die neuen Produkte mit positiver Stimmung aufgenommen werden, eine sofortige Integration aber noch zu gewagt scheint. Im allgemeinen fehlt der Branche noch die erprobte Praxistauglichkeit der neuen Systeme. Mit den ersten Vorstellung ist es aber durchaus denkbar kleine Alternativlösungen in der Praxis anzuwenden um erste Erfahrungen mit den Netzwerklösungen zu machen. Personaleinkürzungen und generelle Einsparungen der Öffentlich-Rechtlichen Sendeanstalten werden zukünftig Vernetzungen von Produktionsstätten fordern, wie Sie von ST 2022 und AVB ermöglicht werden. Die Forderung nach 4K ist aktuell so gering, dass die Bandbreitenfrage zunächst nicht für eine Umrüstung bestehender Strukturen fordert. Diese Forderung wird aber in den kommenden Jahren ein wirklich ernst zu nehmendes Thema werden. Weiterhin sind die Aussichten der Kabellängen bei höheren Bandbreiten über Koaxialkabel für zukünftige Installationen problematisch.

Aktuell kann festgehalten werden, dass die Möglichkeiten der Technik den Anforderungen der Branche noch voraus ist, aber auf dem richtigen Weg ist um zukünftigen Problemen Lösungen zu bieten. Mit der Basis der geschaffenen Standards und den erfolgreichen Produktentwicklungen kann man davon ausgehen, dass in den nächsten Jahren beide Standards ihre Anwendungsfelder in der modernen Broadcasttechnik finden werden.

Das BNC Kabel wird in absehbarer Zeit nicht durch das Netzwurkkabel abgelöst werden. Dennoch werden zunehmend neue Installationen über AVB oder SMPTE 2022 realisiert werden. Ähnlich wie das Koaxialkabel im IT Bereich durch das Netzwurkkabel nach CAT Standard verdrängt wurde, wird es aller Wahrscheinlichkeit im Broadcastbereich ebenso geschehen. Die Systemvorteile sowie die Kostenersparnisse sorgen dafür, dass in den nächsten Jahren die Anwendungsfälle für BNC Systeme zukünftig aller Wahrscheinlichkeit nach seltener werden. In höheren Auflösungen und Bildwiederholungsraten wird an SMPTE 2022 oder AVB kein Weg vorbei führen. Es bleibt eine Frage der Zeit bis das Koaxialkabel in großen Rundfunkhäusern ausstirbt.

Literaturverzeichnis

ARORA, Himanshu (2013): What is IP Multicasting? Concept of IP Multicast Address Explained. Hg. v. The Geek Stuff; URL: <http://www.thegeekstuff.com/2013/05/ip-multicasting/> (Stand 16.06.2015)

ASHFORD, Holly (2014): SDI vs. IP: The fight is on. Hg. v. TVB Europe; URL: <http://www.tvbeurope.com/sdi-vs-ip-the-fight-is-on-2/> (Stand 16.06.2015) (ehemals hier: legacy.tvbeurope.com/main-content/full/sdi-vs-ip-the-fight-is-on/gk75)

AVnu Alliance (2012); AVB Networking Conference. Hg. v. AVnu Alliance; URL: https://www.youtube.com/channel/UCg7psHJmE3opv_T0C4ilhjw (Stand 16.06.2015)

BRIGHTWELL, P.J.; ROSSR J.D.; WADGE, R.N.J.; TUDOR, P.N. (2013): The IP Studio. Hg. v. BBC R&D; URL: <http://downloads.bbc.co.uk/rd/pubs/whp/whp-pdf-files/WHP268.pdf> (Stand 16.06.2015)

DELLACANONICA, Richard (2013): Hybrid Video Transport and Ethernet Switching Platforms. Hg. v. Artel; URL: http://www.artel.com/docs/default-source/whitepapers-and-articles/11350_industry_artel_v3press.pdf?sfvrsn=2 (Stand 16.06.2015)

DUBASH, MANEK (2013): 100Gbps Ethernet-is it time to move?. Hg. v. Computer Weekly; URL: <http://www.computerweekly.com/feature/100Gbps-Ethernet-is-it-time-to-move> (Stand 16.06.2015)

EDWARDS, Thomas (2010): Uncompressed Video Over IP. Hg. v. TV Technology; URL: <http://www.tvtechnology.com/feature-box/0124/uncompressed-video-over-ip/206200> (Stand 16.06.2015)

EDWARDS, Thomas; SILFVAST, Rob (2013): Packetized Professional Video. Hg. v. IEEE; URL: <http://www.ieee802.org/1/files/public/docs2013/tsn-tedwards-rsilf-vast-broadcast-for-TSN-0913.pdf> (Stand 16.06.2015)

FINN, Norman (2007): 802.1 AVB Priority Encapsulation. Hg. v. IEEE; URL: <http://www.ieee802.org/1/files/public/docs2007/avb-nfinn-priority-encapsulation-0607-v1.pdf> (Stand 16.06.2015)

GOLDMANN, Michael (2014): Hot Button Discussion. Hg. v. SMPTE; URL: <https://www.smpte.org/publications/past-issues/March-2014> (Stand 16.06.2015)

GONSALVES, Antone (2015): Dell plans to cut typical 100 GbE switch price in half. Hg. v. Tech Target; URL: <http://searchnetworking.techtarget.com/news/4500244844/Dell-plans-to-cut-typical-100-GbE-switch-price-in-half> (Stand 16.06.2015)

HABER, Lynn (2011): 40 Gigabit Ethernet in data center networks: Migration best practices. Hg. v. Tech Target; URL: <http://searchnetworking.techtarget.com/feature/40-Gigabit-Ethernet-in-data-center-networks-Migration-best-practices> (Stand 16.06.2015)

HEUTZERATH, Thomas (2015): Deutsche nicht scharf auf superscharfes Fernsehen. Hg. v. Die Welt; URL: <http://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article137460997/Deutsche-nicht-scharf-auf-superscharfes-Fernsehen.html> (Stand 16.06.2015)

HUDSON, John (2013): UHD-SDI Standards Overview – Towards a Hierarchy of SDI data Rates. Hg. v. SMPTE; URL: <https://www.smpte.org/sites/default/files/u388/Semtech%20PDF%20Presentation.pdf> (Stand 16.06.2015)

HUDSON, John (2013): 3Gb/s SDI for Transport of 1080p50/60, 3D, UHDTV1 / 4k and Beyond. Hg. v. SMPTE; URL: <https://www.smpte.org/sites/default/files/2013-09-10-3GSDI-Hudson-V3-Handout.pdf> (Stand 16.06.2015)

KAUFFELS, Dr. Franz-Joachim: Lokale Netze Band 1. Hg. v. mitp-Verlag/ Bonn, 15. Auflage 2003

KLAN, Florian (2014): Netgear: Switches mit 10GBase-T und AVB. Hg. v. Heise; URL: <http://www.heise.de/netze/meldung/Netgear-Switches-mit-10GBase-T-und-AVB-2461190.html> (Stand 16.06.2015)

KOFTONOFF, Jeff (2015): AVB Statusbar; URL: <https://avb.statusbar.com/page/> (Stand 16.06.2015)

KREIFELDT, Rick (2009): AVB for Professional A/V Use. Hg. v. AVnu Alliance; URL: http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/AVnu-Pro__White-Paper.pdf (Stand 16.06.2015)

LAABS, Matthias (2012): SDI over IP. Hg. v. EBU; URL: https://tech.ebu.ch/docs/techreview/trev_2012-Q4_SDI-over-IP_Laabs.pdf (Stand 16.06.2015)

LANGHANS, Sonja; BAUMANN, Franz; METZ, Andreas; BERG, Markus (2014): Neue Netzinfrastrukturen für Studio und Produktion? Hg. v. Institut für Rundfunktechnik; URL: https://www.irt.de/no_cache/de/aktuell/news/view/article/kolloquiumsvortrag-zum-thema-neue-netzinfrastrukturen-fuer-studio-und-produktion.html (Stand 16.06.2015)

LIPINSKI, Klaus: Lexikon der Datenkommunikation. Hg. v. mitp-Verlag/ Bonn, 5 Auflage 1999

MEYER, Chuck (2015): Path to IP. Hg. v. Grass Valley; GVB-1-04848-EN-WP_Path_to_IP.pdf Verfügbar unter: <http://host.msgapp.com/Extranet/95818/form-s.aspx?msgid=5bd061ad-c955-4773-9ccc-43f9e9a708b3&LinkID=CH00095818eR00000474AD> (Stand 16.06.2015)

MÜCHER, Michael (2013): Broadcast Fachwörterbuch. Hg. v. BET Verlag 17. Auflage 2013

NORRIS, Craig (2014): Goodbye BNC, Hello 8P8C. Hg. v. TV Technology; URL: <http://www.tvtechnology.com/article/goodbye-bnc-hello-pc/270478> (Stand 16.06.2015)

PENNINGTON, Adrian (2014): Sony Demonstrates a Live 4K Video Over IP Production System. Hg. v. Streaming Media; URL: <http://www.streamingmedia.com/Articles/News/Online-Video-News/Sony-Demonstrates-a-Live-4K-Video-Over-IP-Production-System-99325.aspx> (Stand 16.06.2015)

POULIN, Felix (2013): Towards ALL-IP Studio. Hg. v. SMPTE; URL: <https://www.smpte.org/sites/default/files/Towards%20Fully%20IP%20Studio%20-%20SMPTE%20Mtl%20131119.pdf> (Stand 16.06.2015)

RIGGERT, Wolfgang: Netzwerktechnologien. Hg.v. Fachbuchverlag Leipzig

SCHMIDT, Prof. Dr. Thomas: Layer 2 Multicasting. Hg. v. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg; URL: <https://users.informatik.haw-hamburg.de/~schmidt/maw/L2-mcast.pdf> (Stand 16.06.2015)

SCHULZE, Patrick (2013): HDTV in 720p am Schwinden: Immer mehr Sender setzen auf 1080i. Hg. v. Digital Fernsehen; URL: <http://www.digitalfernsehen.de/HDTV-in-720p-am-Schwinden-Immer-mehr-Sender-setzen-auf-1080i.106014.0.html> (Stand 16.06.2015)

SCHUT, Peter (2013): Video über Ethernet in Broadcast Anwendungen. Hg. v. Axon; URL: <http://fkt.schiele->

schoen.de/fileadmin/user_upload/uploads/FKT/nc_05_Axon_AVB.pdf (Stand 16.06.2015)

SIMPSON, Wes (2013): SMPTE 2022 and the Future of Video Over IP. Hg. v. TV Technology; URL: <http://www.tvtechnology.com/insight/0083/smp2e--and-the-future-of-video-over-ip/220188> (Stand 16.06.2015)

SIMPSON, Wes (2015): Media Industry Transition to IP is Gaining Momentum. Hg.v. TV Technology/ NewBay Media; URL: <http://host.msgapp.com/Extranet/95818/forms.aspx?msgid=55a0dc4b-5954-4f59-a5eb-97d08fb605a6&LinkID=CH00095818eR00000498AD> (Stand 16.06.2015)

SINGER, Stefan (2014): Ethernet AVB in Infotainment. Hg. v. IEEE; URL: http://standards.ieee.org/events/automotive/2014/04_Ethernet_AVB_in_Infotainment.pdf (Stand 16.06.2015)

SMPTE: diverse Standards der SMPTE. Hg. v. SMPTE; URL <http://library.smp2e.org/> (Stand 16.06.2015)

TANNENBAUM, Andrew S.: Computernetzwerke. Hg.v. Pearson Studium; 4. Auflage 2003

TEENER, Michael Johas (2009): No-excuses Audio/Video Networking:the Technology Behind AVnu. Hg. v. AVnu Alliance; URL: <http://avnu.org/wp-content/uploads/2014/05/No-excuses-Audio-Video-Networking-v2.pdf> (Stand 16.06.2015)

TEENER, Michael Johas (2010): Time Awareness for Bridged LANs: IEEE 802.1 Audio Video Bridging. Hg. v. ITU; URL: http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/06/38/T06380000040001PDFE.pdf (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2011): Evolving networks to Audio Video Bridging (AVB). Hg. v. Audinate; URL: <http://www.lectrosonics.com/europe/images/PDFs/audinate%20avb%20white%20paper%20v1%202.pdf> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2012): Connect AVB – Intercom Goes Real-Time IP. Hg. v. Riedel; URL: http://www.riedel.net/LinkClick.aspx?link=Downloads%2FData_Sheets%2FConnect+AVB+EN.pdf&mid=0&language=zh-CN&forcedownload=true (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2012): METDADATA. Hg. v. Instrumentation Technology System; URL: http://www.itsamerica.com/Technical_Descriptions/White%20Paper%20-%20Meta-datas.pdf (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2013): Evertz prepares facilities for a 4K world at NAB. Hg. v. TV Technology; URL: <http://www.tvtechnology.com/default.aspx?tabid=204&entryid=9891> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2013): Sony Develops "Real-time IP Production Technology" Capable of Synchronous Transferring and Switching of HD and 4K Video, Audio and Control Signals Over A Network. Hg. v. Videocraft; URL: <http://www.videocraft.com.au/blog/sony-develops-real-time-ip-production-technology-capable-of-synchronous-transferring-and-switching-of-hd-and-4k-video-audio-and-control-signals-over-a-network/> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2013): The revolution will be televised. Hg. v. Stagebox; URL: <http://www.stagebox.tv/the-revolution-will-be-televised/> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2013): Transport of JPEG 2000 Broadcast Profile video in MPEG-2 TS over IP. Hg. v. Video Service Forum (VSF); URL: http://www.videoservicesforum.org/activity_groups/VSF_TR-01_2013-04-15.pdf (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2014): 10G SMPTE 2022-5/6 RTP Video over IP. Hg. v. Macnica Americas; URL: <http://www.macnica-na.com/10g-video> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2014): An Introduction to SMPTE 2022 with SMPTE 2059 (White Paper). Hg. v. Macnica Americas; URL: <http://www.macnica-na.com/10g-video> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2014): Grass Valley to Show Customer the Way to 4K/UHR at IBC 2014. Hg.v. Grass Valley; URL: <http://www.grassvalley.com/news/press/releases/view/2379-grass-valley-to-show-customers-the-way-to-4kuhd-at-ibc-2014> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2014): IEEE 1722A Transport Protocol for AVB Networks. Hg. v. Axon; URL: <http://www.axon.tv/downloads/1136962/AN2014-16%20IEEE%201722a%20for%20AVB%20networks.pdf> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2014): Off the shelf IP routing switchers in the hybrid IP/SDI television broadcast environment. Hg. v. Quantel; URL: <http://www.snellgroup.com/documents/white-papers/IP-Routing.pdf> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2014): The Broadcaster's Guide to SMPTE 2022. Hg. v. Artel Video Systems; <http://www.artel.com/docs/default-source/white-papers/broadcasters-guide-to-smpte-2022.pdf?sfvrsn=12> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2015): 100-Gigabit-Ethernet. Hg. v. ITWissen; URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/100-Gigabit-Ethernet-100-Gigabit-Ethernet.html> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2015): EXE46T. Hg. v. Evertz; URL: <http://www.evertz.com/products/EXE-VSR> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT (2015): PTP hg. v. ITWissen; URL: <http://www.itwissen.info/definition/lexikon/precision-time-protocol-PTP.html> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT: AVB Resource Guide. Hg. v. Biamp Systems; URL: http://c353616.r16.cf1.rackcdn.com/Biamp_AVB_Reference_Guide.pdf (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT: Audio Video Bridging. Hg. v. Axon; URL: <http://www.axon.tv/EN/products/90/avb> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT: ISO/OSI-7-Schichtmodell. Hg. v. Elektronik Kompendium; URL: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/0301201.htm> (Stand 16.06.2015)

UNBEKANNT: Netzwerk Topologien. Hg. v. Netzwerke; URL: <http://www.netzwerke.com/Netzwerk-Topologien.htm> (Stand 16.06.2015)

Video Services Forum (2013): SMPTE Standards Update Webcast: Video Over IP Using The SMPTE Standards. Hg. v. smpteconnect; URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ZtQdAvwSe1E> (Stand 16.06.2015)

WELCH, Joel E. (2013): Uncompressed Video over IP Standards Progress. Hg. v. SMPTE; URL: http://sas-origin.onstreammedia.com/origin/smpete0109/SMPTE_Standards/2013_Standards_Webcasts/2013-06-11-SMPTE_2022-Gilmer-Dale/2013-06-11-SMPTE_2022-Gilmer-Dale-handout.pdf (Stand 16.06.2015)

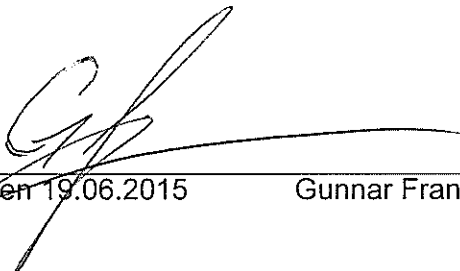
Anlagen

Anlage 1: Blockschaltbild konventionelle SDI-BNC Verkabelung

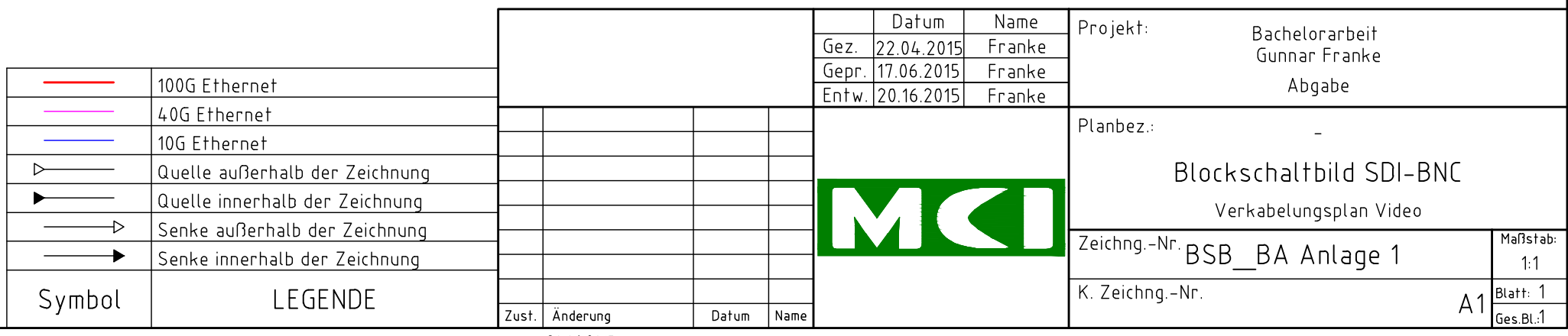
Anlage 2 Blockschaltbild nach Prinzip AVB-Netzwerk

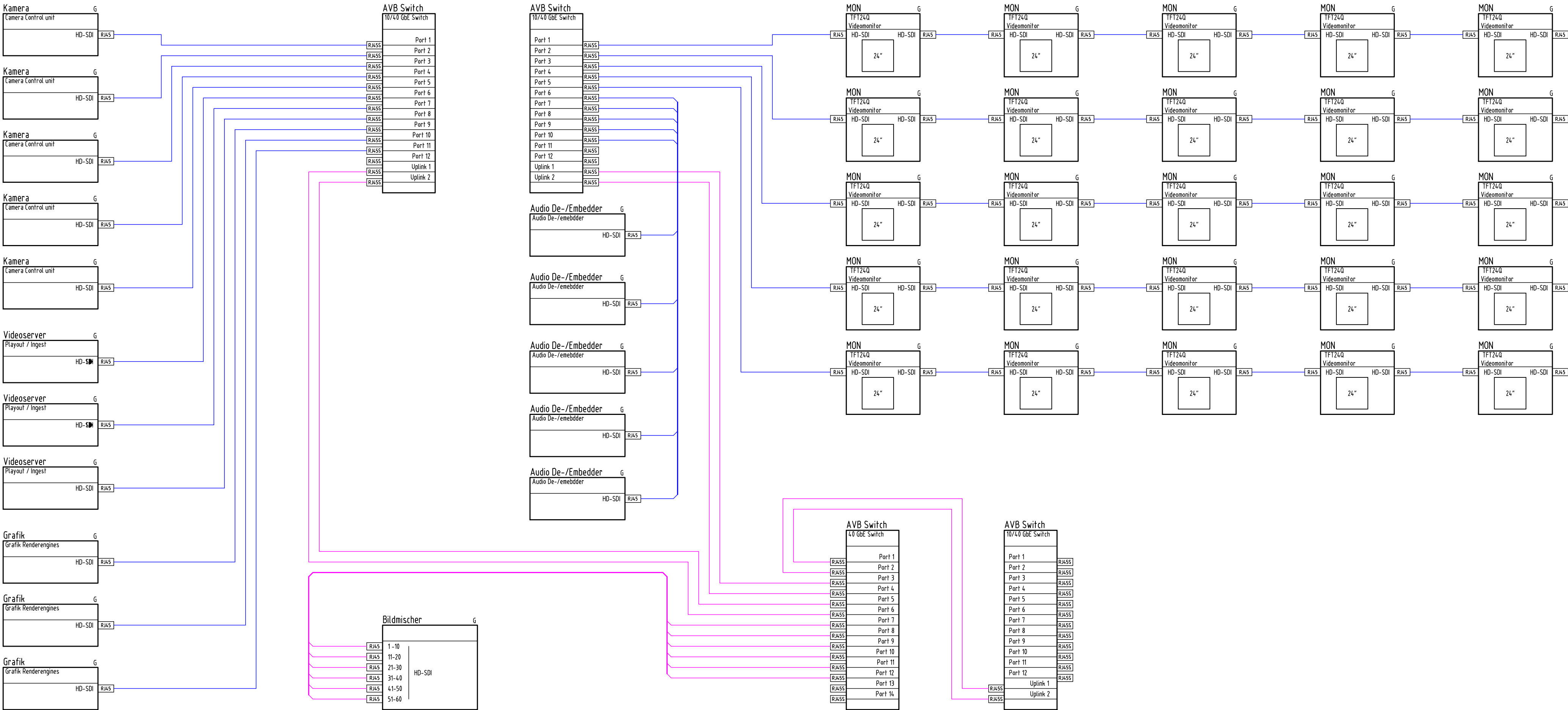
Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.




Berlin, den 19.06.2015 Gunnar Franke





	100G Ethernet
	40G Ethernet
	10G Ethernet
	Quelle außerhalb der Zeichnung
	Quelle innerhalb der Zeichnung
	Senke außerhalb der Zeichnung
	Senke innerhalb der Zeichnung

Symbol	LEGENDE
--------	---------

				Datum		Name		Projekt: Bachelorarbeit Gunnar Franke Abgabe					
				Gez.	22.04.2015	Franke							
				Gepr.	17.06.2015	Franke							
				Entw.	20.16.2015	Franke							
								Planbez.: - Blockschaltbild SDI-AVB Verkabelungsplan Video					
Zust.				Änderung		Datum		Name		K. Zeichng.-Nr. BSB__BA Anlage 2 A1 Blatt: 1 Ges.Bl.: 1			